

**VŠB – Technická univerzita Ostrava**  
**Fakulta elektrotechniky a informatiky**  
**Katedra telekomunikační techniky**

**Technologie Frame Relay**  
**Frame Relay Technology**

**2009**

**Karel Tomala**

# Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých sem čerpal. Rád bych poděkoval vedoucímu své diplomové práce panu Ing. Petru Machníkovi, Ph.D. za poskytnutí cenných rad při řešení daného problému.

V Ostravě dne 5. května 2009

.....

Karel Tomala

## **Abstrakt**

Tato diplomová práce nastiňuje oblast datové paketové komunikace, přičemž je zaměřena na technologii Frame Relay z hlediska základních vlastností, principu a funkčnosti Frame Relay sítě a architektury Frame Relay protokolu. Úkolem této práce je navrhnout a realizovat Frame Relay síť v laboratorních podmínkách za pomoci směrovačů od firmy Cisco a implementovat do navrhnuté sítě nástroje pro řízení provozu, jejichž nastavení bude ověřeno pomocí generátoru provozu. Samotná Frame Relay síť je tvořena zařízeními nakonfigurovanými jako Frame Relay přepínače a směrovače. Jako nástroje pro řízení provozu byly implementovány pro jednotlivé virtuální okruhy garantovaná datová přenosová rychlost označovaná jako CIR, datové množství Bc s garantovaným přenosem Frame Relay spojení a signalizace stavů přetížení na rozhraních Frame Relay přepínačů.

## **Klíčová slova**

Technologie Frame Relay, spojová vrstva, přepojování rámců, DTE zařízení, DCE zařízení, permanentní virtuální okruh, identifikátor DLCI, zapouzdření Frame Relay, částečná vícecestná topologie, směrovač, pod-rozhraní směrovače, Frame Relay přepínač, přepínací tabulka virtuálního okruhu, řízení provozu v síti, map-class, přenosová rychlost CIR, datové množství Bc, bity BECN a FECN.

# **Abstract**

This thesis outlines the area of data packet communication with focus on Frame Relay technology in term of basic features, principle and functionality of Frame Relay network and architecture Frame Relay protocol. The task of this work is to design and realize the Frame Relay network in laboratory conditions using routers from Cisco company and implement instruments for traffic management into designed network, the settings will be verified through the traffic generator. The Frame Relay network consists of device configured as Frame Relay switches and routers. As a tool for traffic management were implemented for each virtual circuit guaranteed data transfer rate, known as CIR, Bc quantities of data with a guaranteed transfer Frame Relay connection and signalization status congestion on the Frame Relay switches.

# **Keywords**

Frame Relay technology, link layer, switching frames, DTE device, DCE device, permanent virtual circuit, DLCI identifier, Frame Relay encapsulation, partial mesh topology, router, subinterface of router, Frame Relay switch, switching table of virtual circuit, traffic management in the network, map-class, transfer rate CIR, quantities of data Bc, BECN and FECN bits.

## Seznam použitých symbolů a zkratek

<b>ANSI</b>	<i>American National Standards Institute</i> – americký normalizační institut
<b>ARP</b>	<i>Address Resolution Protocol</i> – protokol pro získání MAC adresy
<b>ATM</b>	<i>Asynchronous Transfer Mode</i> – standard pro vysokorychlostní síť
<b>Bc</b>	<i>Committed Burt Size</i> – datové množství s garantovaným přenosem
<b>Be</b>	<i>Excess Burst Size</i> – datové množství bez garance přenosu
<b>BECN</b>	<i>Backward Explicit Congestion Notificaton</i> – zpětné oznámení o přetížení
<b>CCITT</b>	<i>Comité Consultatif International de Télégraphique et Téléphonique</i> – mezinárodní poradní sbor pro telegraf a telefon
<b>CIR</b>	<i>Committed Information Rate</i> – přenosová rychlost
<b>CLI</b>	<i>Command Line Interface</i> – rozhraní příkazového řádku
<b>CR</b>	<i>Call Reference</i> – rezerva
<b>C/R</b>	<i>Command/Response</i> – příkaz/odpověď
<b>DCE</b>	<i>Data Circuit-terminating Equipment</i> – datové ukončovací zařízení okruhu
<b>DE</b>	<i>Discard Eligibility</i> – bit označující rámec, který je možné odstranit
<b>DKZ</b>	datové koncové zařízení
<b>DLCI</b>	<i>Data Link Connection Identifier</i> – identifikátor pro virtuální okruh
<b>DTE</b>	<i>Data Terminal Equipment</i> – datové koncové zařízení
<b>EA</b>	<i>Extended Address bit</i>
<b>FCS</b>	<i>Frame Check Sequence</i> – kontrolní součet
<b>FECN</b>	<i>Forward Explicit Congestion Notification</i> – oznámení následujícímu uzlu o přetížení
<b>FR</b>	<i>Frame Relay</i>
<b>FRAD</b>	<i>Frame Relay Access Device</i> – přístupový komponent
<b>FRF</b>	<i>Frame Relay Forum</i>
<b>FRND</b>	<i>Frame Relay Network Device</i>

<b>HDLC</b>	<i>High-level Data Link Control</i> – komunikační protokol linkové vrstvy
<b>IPX</b>	<i>Internet Packet Echange</i> – síťový protokol
<b>ISDN</b>	<i>Integrated Services Digital Network</i> – digitální síť integrovaných služeb
<b>ITU – T</b>	<i>International Telecommunication Union – Telecommunications standartization sector</i> – mezinárodní telekomunikační unie
<b>KS</b>	koncový systém
<b>LAN</b>	<i>Local Area Network</i> – lokální síť
<b>LAP – D</b>	<i>Link Access Protocol – channel D</i> – protokol spojové vrstvy
<b>LAP – F</b>	<i>Link Access Protocol – Frame</i> – protokol Frame Relay
<b>LMI</b>	<i>Local Management Interface</i>
<b>MPLS</b>	<i>MultiProtocol Label Switching</i> – přenos IP paketů sítí WAN
<b>MT</b>	<i>Message Type</i> – typ zprávy
<b>NNI</b>	<i>Network-to-Network Interface</i> – rozhraní síť-síť
<b>OSI</b>	<i>Open Systems Interconnection</i> – propojení otevřených systémů
<b>PD</b>	<i>Protocol Discriminator</i> – indikátor zprávy LMI
<b>PPP</b>	<i>Point-to-Point Protocol</i> – protokol pro spojení dvou uzlů
<b>PVC</b>	<i>Permanent Virtual Circuit</i> – permanentní virtuální okruh
<b>RIP</b>	<i>Routing Information Protocol</i> – směrovací protokol
<b>SVC</b>	<i>Switched Virtual Circuit</i> – přepínaný virtuální okruh
<b>Tc</b>	<i>Committed Rate Measurement Interval</i> – časový interval
<b>TCP/IP</b>	<i>Transmission Control Protocol/Internet Protocol</i> – primární transportní protokol/protokol síťové vrstvy
<b>UII</b>	<i>Unnumbered Information Indikator</i> – pole nečíslovaných rámců
<b>UNI</b>	<i>User-to-Network Interface</i> – rozhraní uživatel-síť
<b>VLSM</b>	<i>Variable Length Subnet Mask</i> – variabilní délka masky
<b>WAN</b>	<i>World Area Network</i> – rozlehlá síť

# Obsah

<b>1</b>	<b>Úvod.....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Charakteristika Frame Relay technologie .....</b>	<b>3</b>
2.1	Vývoj sítí Frame Relay .....	4
2.2	Frame Relay zařízení .....	6
2.3	Přístupové komponenty.....	7
2.4	Princip přenosu dat.....	8
2.5	Frame Relay jako statistický multiplexer.....	9
2.6	Základní funkce.....	10
<b>3</b>	<b>Architektura Frame Relay protokolu .....</b>	<b>11</b>
3.1	Virtuální okruhy .....	11
3.1.1	Permanentní okruhy .....	12
3.1.2	Přepínané okruhy.....	12
3.1.3	Identifikátor DLCI.....	13
3.1.4	Vícenásobné virtuální okruhy .....	13
3.2	Zapouzdření Frame Relay .....	14
3.2.1	Formát rámce .....	14
3.3	Druhy topologií .....	16
3.3.1	Hub and Spoke .....	17
3.3.2	Full Mesh .....	18
3.3.3	Partial Mesh .....	18
3.4	Adresování ve Frame Relay .....	19
3.5	Mapování adres .....	20
3.5.1	Dynamické mapování.....	20
3.5.2	Statické mapování .....	20

3.6	Rozhraní v síti FR .....	21
3.6.1	Protokol LMI.....	21
3.6.2	Protokol Annex A.....	22
3.7	Bezpečnost v síti .....	23
<b>4</b>	<b>Návrh a realizace Frame Relay sítě .....</b>	<b>24</b>
4.1	Topologie sítě.....	25
4.2	Základní konfigurace FR zařízení.....	27
4.3	Frame Relay přepínače.....	29
4.4	Koncová přístupová zařízení.....	31
4.5	Konfigurace koncových stanic.....	33
4.6	Aktivace směrovacího protokolu .....	33
4.7	Ověření funkčnosti Frame Relay sítě.....	34
<b>5</b>	<b>Řízení provozu ve Frame Relay síti.....</b>	<b>36</b>
5.1	Problém přetížení ve Frame Relay síti .....	36
5.2	Řízení provozu na vstupu sítě .....	38
5.2.1	Přenosová rychlost CIR.....	39
5.2.2	Konfigurace provozu pro Frame Relay zařízení .....	40
5.2.3	Datové množství Bc a Be .....	41
5.2.4	Závislost parametrů CIR, Bc, Be a Tc.....	42
5.3	Signalizace stavů přetížení.....	43
5.3.1	Bit BECN .....	43
5.3.2	Bit FECN.....	44
5.3.3	Řízení přetížení na FR přepínačích .....	45
<b>6</b>	<b>Závěr .....</b>	<b>47</b>
	<b>Literatura.....</b>	<b>49</b>
	<b>Seznam příloh.....</b>	<b>52</b>



# 1 Úvod

V současné době jsme svědky neustálého rozvoje datových sítí, a to z větší části na úkor rozvoje dříve určených sítí pouze pro přenos hlasu. Ukazuje se totiž, že poptávka po službách přenosu dat neustále roste. Pod pojmem „datová síť“ se dnes chápe taková síť, která je určena pro přenos digitálních dat, rozložených do vhodně velkých celků (kterým se obvykle říká pakety) a přenášených po těchto celcích. Rozvoj datových sítí probíhal výraznou rychlostí, způsobenou celou řadou faktorů, mezi které patří filozofie budování sítí v prostředí, které je mnohem pružnější a schopné rychle reagovat, jak na technologický vývoj, tak i vývoj v poptávce. S ním se rychle vyvíjejí, jak samotné datové sítě, tak i technologie pro jejich budování a provoz.

Pro spolupráci mezi jednotlivými sítěmi LAN se hledali, takové prostředky, které by poskytovali co nejvyšší pohotovost spojení, dostatečně vysoký přenosový výkon a přenos s definovaným zpožděním. Řešení se našlo ve zrychlení přístupu k přenosovému médium či zrychlení přepojování v datových paketových sítích. Při podrobném rozboru referenčního modelu OSI je patrné, že se některé procesy opakují v různých vrstvách v rámci ověřování a potvrzování správného příjmu dat, čím dochází k dalším časovým ztrátám v důsledku velkého objemu služebních informací, které se připojují ke každé datové jednotce při přechodu z jedné vrstvy do sousední nižší vrstvy. Začaly se proto hledat možnosti, jak datovou paketovou komunikaci zrychlit [1].

Paketová komunikace má základy v době, kdy se začalo využívat přepojování zpráv v telegrafním provozu. Tento způsob komunikace se dnes používá, jak v lokálních sítích LAN, tak v rozlehlých sítích WAN prostřednictvím technologie Frame Relay. Koncem osmdesátých let a začátkem devadesátých let došlo k důležitým technologickým změnám, které měly hlavní vliv na vývoj přenosové technologie Frame Relay. S rozvojem sítí LAN v porovnání s terminály a inteligentními pracovními stanicemi se mění centralizovaný model zpracování s důsledky pro komunikační infrastrukturu. Jedním z důsledků je exponenciální zvyšování objemů přenášených dat a ještě podstatnější je změna rozložení v čase [2]. Tato metoda byla vyvinuta k tomu, aby bylo možné využít vlastnosti nových tras a pokrýt požadavky na konektivitu. Vzhledem k tomu, že v současnosti je Frame Relay technologií ve stínu novějších technologií, například MPLS, je však stále využívanou možností pro současné datové trendy.

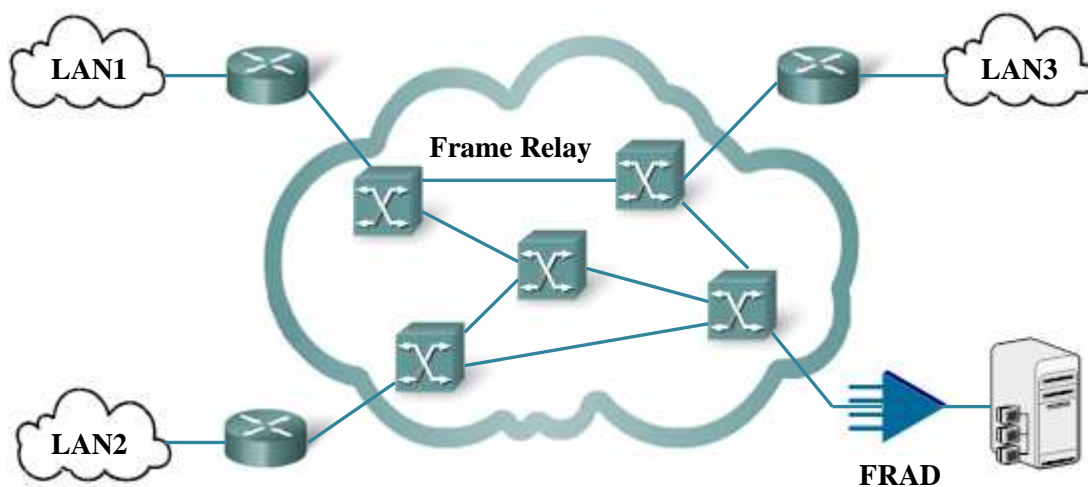
Cílem diplomové práce je navrhnout a realizovat Frame Relay síť v laboratorních podmínkách na směrovačích od firmy Cisco a do vytvořené sítě implementovat nástroje pro řízení provozu. Při rozhodování o výběru a návrhu topologie sítě bude záležet na možnostech vybavení laboratoře. Prvním krokem bude nakonfigurovat navrhnutou Frame Relay síť pomocí rozhraní příkazového řádku. Dalším úkolem bude nastavit parametry pro řízení provozu na jednotlivých rozhraních virtuálních okruhů. Pomocí testeru ParaScope GigE bude generován provoz na jednotlivých virtuálních kanálech pro ověření nastavených přenosových rychlostí.

Celá diplomová práce je rozdělena do šesti hlavních kapitol. Kapitola 2 se zabývá charakteristikou a úvodem do problematiky technologie Frame Relay. V kapitole 3 je popsána architektura Frame Relay sítě jako je princip virtuálních okruhů, formát Frame Relay rámce, druhy topologií a způsob mapování adres ve Frame Relay síti. Kapitola 4 obsahuje návrh topologie Frame Relay sítě a postup při konfiguraci Frame Relay prepínačů a směrovačů. V kapitole 5 jsou popsány prostředky pro řízení provozu.

## 2 Charakteristika Frame Relay technologie

Frame Relay (rámcová komunikace) byla původně uvažována jako specifikace pro paketový přenos v D kanálu při ISDN. Tento protokol se oddělil jako samostatný v roce 1989 a v současnosti se provozuje mimo ISDN. Technologie Frame Relay je primárně určena pro propojování vzdálených LAN sítí a slouží k přenosu dat mezi nimi přes rozsáhlé WAN sítě. Nahradila starší technologie, jako byly X.25 nebo sériové linky PPP. Protokol jako takový nepoužívá, na rozdíl od X.25, žádnou kontrolu chyb. Procesy detekce chyb a jejich opravy svěřuje vyšším vrstvám. Frame Relay poskytuje kontrolu zahlcení ve formě zpráv s oznámením. Pojem „relay“ znamená, že rámce spojové vrstvy nejsou zpracovány na koncích datového spoje, ale samostatně převáděny až k cílové stanici, kde jsou teprve zkontrolovány a určeny ke zpracování [3]. Přenášená data jsou rozdělena na rámce (frame), a každý rámec je opatřen informací o tom, kam má být doručen. Koncové stanice jsou zodpovědné nejen za opravu chyb, ale i za řízení toku.

V referenčním modelu OSI pokrývá síť Frame Relay pouze dvě nejnižší vrstvy, fyzickou a spojovou. Na fyzické vrstvě se skládá ze síťových zařízení, označovaných jako Frame Relay přepínače (switch) a z datových linek mezi nimi. K okrajům sítě jsou připojena uživatelská zařízení. To je nejčastěji směrovač připojující lokální síť nebo tzv. FRAD (Frame Relay Access Device) [4]. Příklad sítě je znázorněn na obrázku 1. Na spojové vrstvě se využívá přepojování rámců.



Obr. 1: Síť Frame Relay

Z přepojování paketů proměnné délky na třetí vrstvě se postupně vyvinulo přepojování rámců proměnné délky na druhé vrstvě, tedy Frame Relay technologie. Ve Frame Relay síti se jedná o rychlé paketové přepojování (Fast Packet Switching). Snaží se také spojovat výhody mechanismů přepojování okruhů a přepojování paketů. Lze se na ni dívat jako na funkční analogii vyhrazených pevných okruhů, ovšem realizovanou prostřednictvím sítí fungujících na principu přepojování paketů. Díky tomu mohou být sítě na bázi Frame Relay ekonomicky výhodnější, než klasické pronajaté okruhy.

Frame Relay koncepce v sobě slučuje vlastnosti X.25 a statistického multiplexování a umožňuje přenášet velké datové objemy s relativně vysokou přenosovou rychlostí v rozsáhlých sítích. Frame Relay je koncepce pro rychlý přenos dat. Poskytuje přenosovou rychlost 64 kbit/s až 2,048 Mbit/s (možnost dosáhnout rychlosti až 45 Mbit/s). Důležitou společnou vlastností Frame Relay a X.25 je, že i ve Frame Relay lze přes fyzické spojení podporovat více virtuálních spojení typu program – program. Frame Relay protokol představuje zjednodušenou formu protokolu vrstvy 2 LAP – D a je součástí doporučení Q.922 [5].

## 2.1 Vývoj sítí Frame Relay

Předchůdcem protokolu Frame Relay na veřejných datových sítích byl protokol X.25. Ten byl navržen v době, kdy přenosové trasy trpěly značnou nespolehlivostí. Proto byl při jeho návrhu kladen velký důraz na mechanismy zajišťující spolehlivé doručování paketů a řízení toku dat. To však vedlo ke značné složitosti protokolu a také k jeho velké režii.

Mezitím získali WAN linky daleko vyšší spolehlivost a menší bitovou chybovost a požadavky na rychlost přenosu dat značně vzrostly. Objevila se potřeba jednoduchého a výkonného přenosového protokolu. Tím se stal protokol Frame Relay, jehož vývoj začal v 80. letech minulého století.

První návrh Frame Relay protokolu vznikl v organizaci CCITT roku 1984. Zpočátku se však nedočkal širšího uplatnění. O vývoj specifikací a aplikací se zapříčinilo konsorcium firem Cisco, DEC, Northern Telecom a StrataCom, které vzniklo v roce 1991. Přišli s vlastní implementací a navíc s rozšířením původního protokolu navrženého CCITT, označovaným jako LMI (Local Management Interface). Tehdy se k podpoře standardu přidali další výrobci. CCITT a ANSI vydaly své vlastní verze LMI rozšíření [4].

Oficiální mezinárodní normalizací Frame Relay se zabýval jednak Americký normalizační institut ANSI (American National Standards Institute) a jednak Mezinárodní telekomunikační unie ITU-T (International Telecommunications Union-Telecommunications standardization sector). Z dříve zmíněného konsorcia čtyř firem vzniklo sdružení výrobců nazývané Frame Relay Forum (FRF), které také vydávalo standardy popisující funkci Frame Relay sítí. Specifikace jsou ve formě tzv. implementačních dohod, které jsou volně k dispozici na rozdíl od doporučení ITU-T (I.233, Q.922 Annex A, Q.933) a standardů ANSI (T1.606, T1.618, T1.617).

Poslední implementační dohoda pod záštitou Frame Relay Forum byla schválena v květnu roku 2002, je to FRF.16.1 Multilink Frame Relay UNI/NNI Implementation Agreement. Multilink Frame Relay k rozhraní uživatel – síť (UNI) a rozhraní síť – síť (NNI) umožňuje emulaci fyzického rozhraní pro zařízení připojená k Frame Relay síti. To sestává z jednoho nebo více spojů vytvářejících agregovanou šířku pásma. Služba poskytuje funkci inverzního multiplexování a zajišťuje pořadí vysílání rámců. Nebyla to však poslední implementační dohoda týkající se Frame Relay [6].

Kromě vývoje datových technologií si prošlo vývojem i samotné sdružení výrobců Frame Relay Forum. Původně existovaly tři fóra pro vývoj a tvorbu standard datových sítí. V roce 2003 se sloučila fóra Frame Relay a MPLS, která vytvořila MPLS a Frame Relay Alianci. Pod tímto názvem byla v únoru 2004 vytvořena dohoda FRF.8.2 Frame Relay/ATM PVC Service Interworking. Tato dohoda popisuje vzájemné propojení permanentních okruhů mezi Frame Relay a ATM technologií. V roce 2005 se k této alianci přidalo ATM Forum a společně vytvořili MFA Forum. V současné době tato organizace nese název IP/MPLS Forum od roku 2007 a reflektuje současný směr aktivit v průmyslu datových sítí. V dubnu 2007 byla schválena v současné době poslední implementační dohoda týkající se Frame Relay a to FRF.19.1 Frame Relay Operations, Administration and Maintenance. Počet dohod popisujících Frame Relay se zastavil na 22.

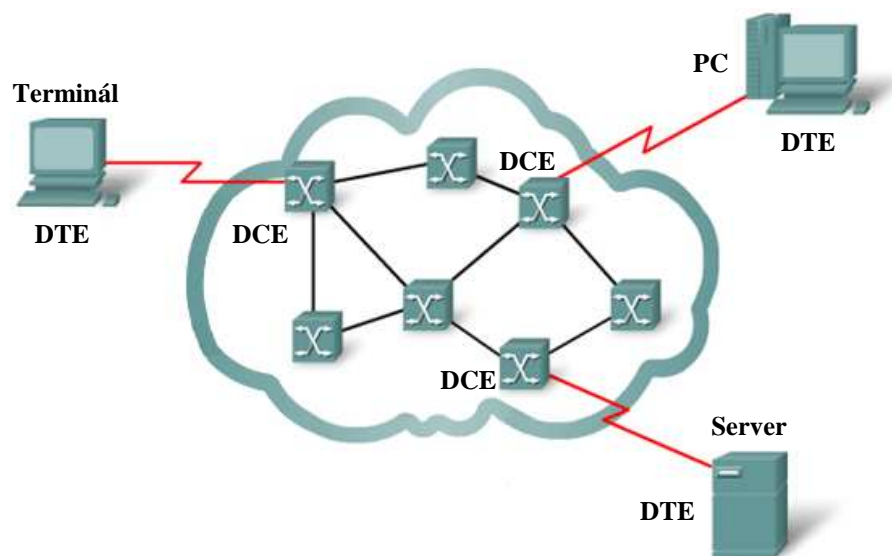
Tento složitý vývoj vedl k existenci několika různých standardů. S tím je třeba počítat při navrhování sítě. Buď musíme používat všechna zařízení od jednoho výrobce, nebo taková, která podporují mezinárodně standardizované verze protokolu. Naštěstí mnoho zařízení dovoluje požadovanou verzi protokolu nakonfigurovat.

## 2.2 Frame Relay zařízení

Frame Relay (FR) operuje mezi koncovým uživatelským zařízením a sítí. Zařízení připojená k libovolné Frame Relay síti spadají do následujících dvou hlavních kategorií. Jsou to zařízení typu:

- DTE (Data Terminal Equipment)
- DCE (Data Circuit-terminating Equipment)

Na obrázku 2 je znázorněna WAN síť s technologií Frame Relay a ukazuje vztah mezi jednotlivými zařízeními. DTE jsou všeobecně považovány za koncová zařízení pro určitou síť a typicky jsou umístěny na straně zákazníka. Ve skutečnosti jsou většinou zákazníci majitelé těchto prostředků. DTE zařízení mohou být terminály, osobní počítače nebo směrovače. DCE jsou prostředky, které zajišťují propojení v síti a jsou zařízení poskytovatele sítě. Účelem DCE je poskytovat synchronizační, přepínací služby v síti a zodpovídají za přenos dat přes WAN síť.



Obr. 2: DTE a DCE zařízení [12]

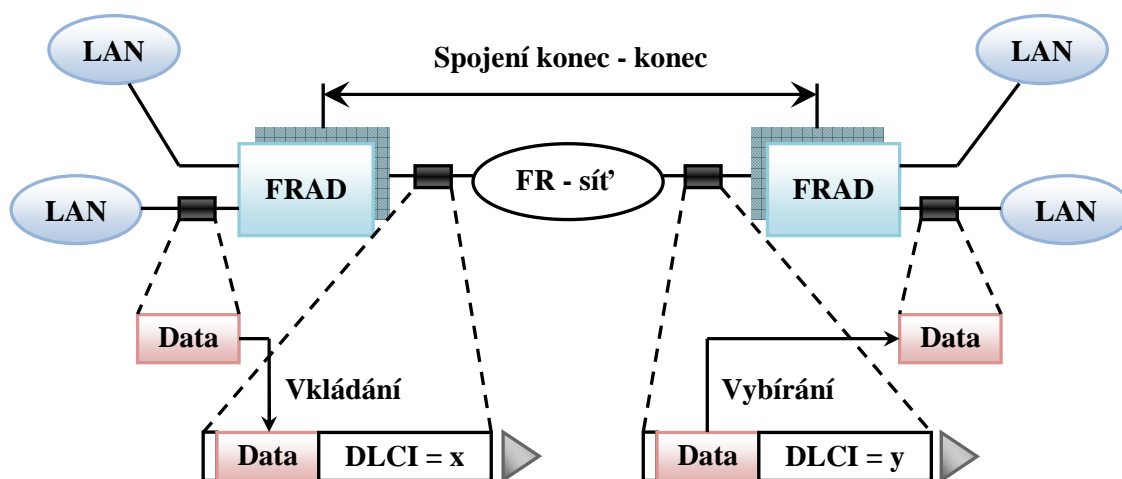
Spojení mezi DTE a DCE zařízením se sestává jak z části fyzické vrstvy, tak z části spojové vrstvy. Fyzická část definuje mechanické, elektrické, funkční a procesní technické podmínky pro spojení mezi zařízeními. Jedno z nejběžněji používaných fyzických rozhraní je doporučený standard RS – 232. Spojová část definuje protokol stanovující spojení mezi DTE zařízením jako směrovač a DCE zařízením jako FR přepínač [7].

## 2.3 Přístupové komponenty

Pro připojení systémů na Frame Relay síť, které nemohou vysílat data ve formátu Frame Relay, jsou zapotřebí určité přístupové komponenty. Frame Relay síť často slouží jen jako čistě tranzitní síť (Backbone), ke které může být přístup realizován pomocí:

- Směrovače
- FRAD (Frame Relay Access Device) zařízení

Směrovač s Frame Relay rozhraním se používá pro vzájemné propojení LAN pomocí Frame Relay sítě. FRAD zařízení odpovídá PAD zařízení v X.25 síti a představuje vlastní Frame Relay koncový systém obrázek 3.



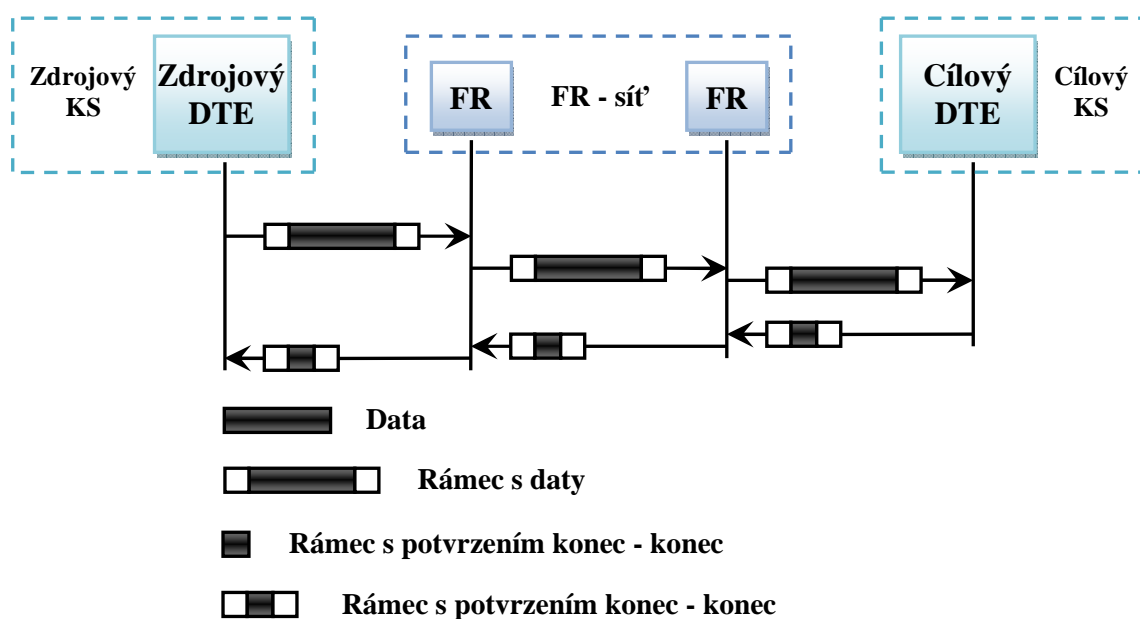
Obr. 3: Příklad aplikace FR sítě

Jako je zřejmé z obrázku, vysílaná data jsou pomocí FRAD zařízení ukládána do rámců a potom přenášena přes Frame Relay síť. V cílovém FRAD jsou z přijímaných rámců znovu získána původní data. Pomocí FRAD zařízení je možné na Frame Relay síť připojit různé systémy, jako je např. LAN, spínače nebo různé specifické komponenty. Při propojení LAN se často používá TCP/IP protokol. Směrování datových paketů se uskutečňuje na základě pevně nastavených spojovacích tabulek v síťových uzlech. V tabulkách jsou obsažena přípojná vedení k účastníkům a síťovým uzlům s určitými přidělenými DLCI hodnotami. Přiřazení spojení, tj., ve které vstupní DLCI patří určitému vedení je přiřazeno výstupnímu DLCI, je vytvořeno provozovatelem sítě na základě požadavku zákazníka.

Všechny datové pakety jsou přenášeny sítí podle těchto tabulkových údajů. Frame Relay služba dává k dispozici přes přípojky větší počet pevných spojení s různými partnery. Ze strany zákaznické přípojky nejsou spojení ovládána, tj. volba požadovaného DKZ (datové koncové zařízení) nemá žádný význam [5].

## 2.4 Princip přenosu dat

Obecně řečeno, Frame Relay je koncepce vytvořená jako modifikace X.25, která spočívá hlavně v tom, že je odstraněno úsekové HDLC potvrzování. HDLC potvrzování snižovalo propustnost sítě, což v důsledku neumožňovalo dosažení vyšších přenosových rychlostí než 64 kbit/s. Princip přenosu dat podle Frame Relay je na obrázku 4.



Obr. 4: Přenos dat podle FR

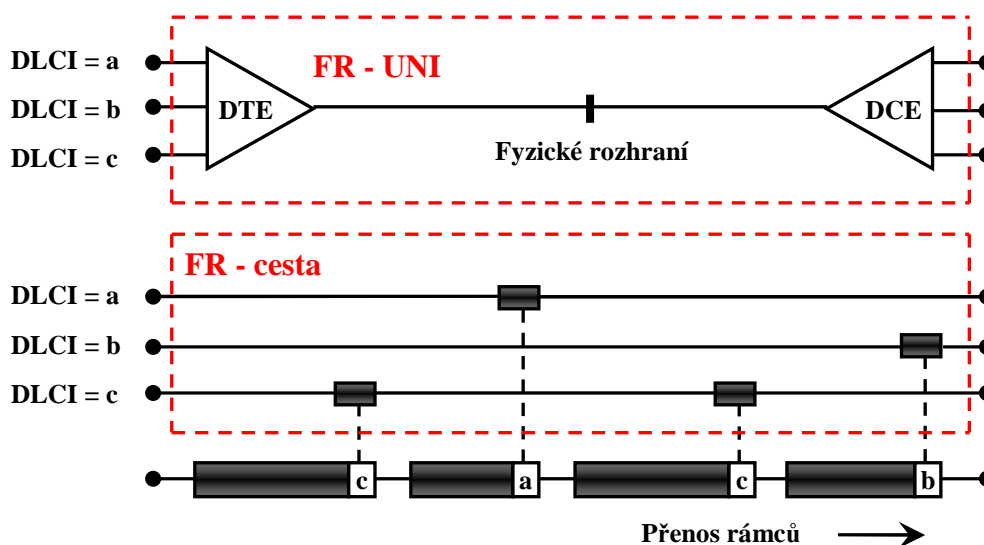
V každém Frame Relay uzlu, resp. v cílovém koncovém systému (KS) jsou přezkušována přijímaná data jen z hlediska, zda existuje přenosová chyba. Při Frame Relay je skutečné přezkoušení zabezpečení datového přenosu přes síť realizováno koncovým systémem. Tyto musí přenosovou chybu rozeznat a od komunikujícího partnera požadovat opakovaný přenos chybných nebo ztracených dat přes síť [5].



## 2.5 Frame Relay jako statistický multiplexer

Statistický multiplex přenosovou kapacitu společné přenosové cesty přiděluje podle momentální potřeby a dokáže tudíž pružně reagovat na to, kdy jeden dílčí kanál potřebuje „více“, a druhému momentálně stačí „méně“. Statistický multiplex má značně stíženou roli v tom, že nemůže předem počítat s nějakým pevně daným způsobem rozdělení přenosového spoje v čase. Příjemce pak nemůže apriorně tušit, komu patří to, co právě vychází z druhého konce přenosové cesty [8]. Jediným možným řešením je pak to, aby přenášená data sama říkala, co jsou zač a komu patří neboli opatřit je vhodnou hlavičkou s nezbytnými identifikačními údaji, které Frame Relay technologie poskytuje.

Důležitou společnou vlastností Frame Relay a X.25 je to, že obě techniky umožňují paralelní komunikaci konec – konec (program) přes jedno fyzické vedení. Obrázek 5 naznačuje princip paralelní komunikace podle Frame Relay koncepce.



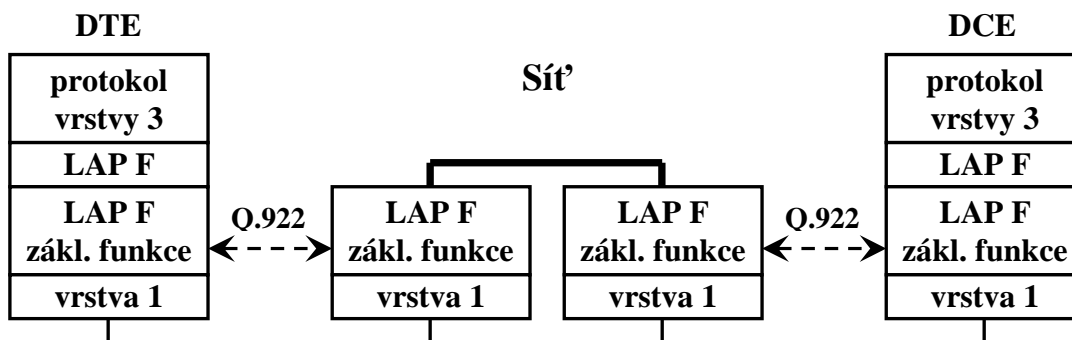
Obr. 5: Multiplexní model pro paralelní komunikaci podle FR

Každý rámec obsahuje údaj DLCI (Data Link Connection Identifier), který vyjadřuje číslo portu v logickém multiplexeru na straně DTE a Frame Relay ústředně DCE. DLCI ve Frame Relay je tedy porovnatelné s X.25. DLCI slouží k přiřazení rámce k příslušnému virtuálnímu kanálu [5].

## 2.6 Základní funkce

Frame Relay je služba se speciálním protokolem vrstvy 2, který je definován v doporučení ITU-T Q.922 (HDLC – LAP F). Tento protokol je použitý jen na transport užitečných dat. Při Frame Relay službě se v síti využívají jen některé, tzv. jádrové funkce z LAP F. Jsou to následující funkce: zpracování flagu, přezkušování délky bloku, vkládání 0 bitu, zpracování adresy a FCS. Přes logické spojení mezi vrstvami 2 jsou přenášeny rámce s daty z vyšších vrstev.

Vzhledem k tomu, že při Frame Relay službě je odstraněno úsekové HDLC potvrzování, Frame Relay síťové uzly u přijímaných rámců přezkušují jen to, zda jsou chybné nebo ne. V případě, že rámec byl přenesen korektně, postoupí ho ústředna dále. Ve Frame Relay koncepci se spojování rámců uskutečňuje ve vrstvě 2. Když u přijatého rámce byla zjištěna chyba, je tento rámec jednoduše odmítnutý a nepožaduje se žádné negativní potvrzení. Frame Relay koncepce tedy nezná žádné úsekové odstraňování chyb. Rozeznání odmítnutých chybných rámců a jejich opakování je úlohou chybové kontroly konec – konec, realizované ve vyšších vrstvách, jejichž funkce jsou implementovány v DKZ. Na obr. 6 je uveden referenční model pro přenos užitečných dat [5].

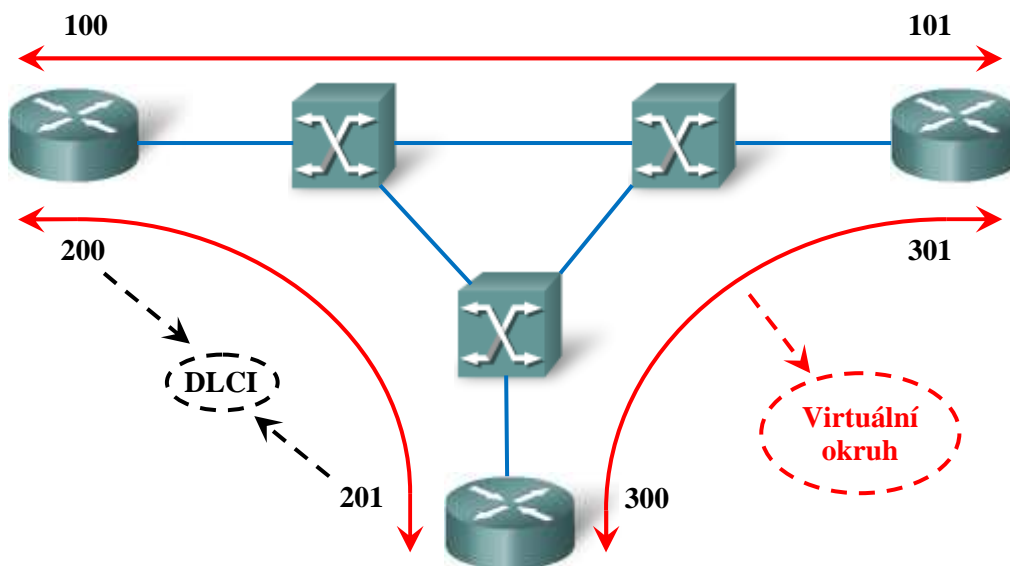


Obr. 6: Referenční model pro přenos užitečných dat

## 3 Architektura Frame Relay protokolu

### 3.1 Virtuální okruhy

Síť Frame Relay je spojově orientovanou sítí. To znamená, že dříve než bude možné komunikovat, musí být vytvořen virtuální okruh. Virtuálním okruhem rozumíme logické spojení mezi DTE zařízeními, který je označen identifikátorem nazývaným DLCI viz obrázek 7. Jednou fyzickou linkou mezi DTE zařízeními a sítí může procházet několik virtuálních okruhů, každý z nich zakončený na jiném protějším DTE. Virtuální okruh prochází přes libovolný počet DCE zařízení tvořících Frame Relay síť.



Obr. 7: Virtuální okruhy a DLCI

Na rozdíl od fyzického okruhu, kdy je přenosová cesta podložena fyzickým přenosovým médiem (prostředím), se signály v paketových sítích přenášejí s mezilehlým záznamem a následným odesláním směrem k adresátovi, takže nelze mezi koncovými stanicemi vysledovat fyzickou cestu, ale pouze pomyslnou. Takový okruh má vlastnosti fyzického okruhu.

Virtuální okruhy mohou být dvou typů:

- PVC (Permanent Virtual Circuit)
- SVC (Switched Virtual Circuit)

### 3.1.1 Permanentní okruhy

Prvním a dlouho jediným typem virtuálního okruhu pro Frame Relay byl pevný virtuální okruh. Tento okruh je trvale vytvořen a má vlastnosti pevného fyzického okruhu. Existují stále bez ohledu na to, zda se jimi právě přenášejí data. Každý PVC okruh začíná a končí na některém DTE zařízení a je identifikován hodnotou DLCI. Bývají k ní přiřazeny určité parametry kvality služby, poskytované tímto okruhem. PVC patří mezi předkonfigurované služby poskytované provozovatelem WAN sítě, protože vyžadují manuální konfiguraci na přepínačích uvnitř sítě pro nastavení celé cesty od zdroje až k cíli. Poté, co jsou nastaveny, operují pouze v přenosovém (DATA TRANSFER) nebo nečinném (IDLE) módu. Manuální konfigurace má své nevýhody, protože není ani jednoduchá ani příliš rychlá. Proto se poskytují na delší dobu, týdny, měsíce nebo až roky. Výhodou PVC je, že přepínače nepotřebují mezi sebou komunikovat prostřednictvím signalizačního protokolu pro nastavení cesty. Permanentní okruhy jsou jednoduché a ve Frame Relay sítích často používané. Vyžadují při návrhu pečlivé plánování založené na znalosti datových toků v navrhované síti. V některých publikacích mohou být uvedeny jako privátní virtuální okruhy [4].

### 3.1.2 Přepínané okruhy

Přepínané virtuální okruhy byly pro Frame Relay navrženy v roce 1994, ale ITU – T a ANSI schváleny až v roce 1996. Tyto okruhy se vytvářejí automaticky (dynamicky) až při požadavku na přenos dat na základě signalizačních zpráv (CALL SETUP, DATA TRANSFER, IDLE, CALL TERMINATION) neboli pomocí softwaru sítě a ukončují se poté, co již nejsou pro přenos dat potřeba. Software na připojené stanici iniciuje vytvoření SVC zasláním požadavku na místní přepínač. Požadavek obsahuje kompletní adresu cílového uzlu, s nímž chce stanice komunikovat, a parametry kvality služby, které se pro dané spojení požadují (např. šířka pásma, zpoždění). Stanice pak čeká na síť, až vytvoří daný okruh a odpoví. Signalizační systém (protokol) je třeba k tomu, aby se v síti všechny zainteresované přepínače dohodly a cestu (okruh) s danými parametry otevřely. Jakmile se všechny přepínače dohodnou, oba koncové přepínače daného spojení informují připojené uzly o otevření virtuálního okruhu. Doručení rámce není zaručeno (proto je někdy tato služba označována jako connection-less oriented) a najdete tedy i označení jako služba bez spojení. Po skončení přenosu dat SVC okruh automaticky zaniká. Nicméně přepínané okruhy se používají zřídka [9].

Přepínaný okruh tedy prochází čtyřmi funkčními stavy:

- Sestavení spojení – požadavek na přenos způsobí automatické sestavení spojení
- Přenos dat – uživatelská data jsou přenášena mezi DTE zařízeními
- Klidový stav – přenos dat byl ukončen, SVC ještě po nějakou dobu je aktivní
- Ukončení spojení – po určité době bez přenosu dat je SVC okruh zrušen

### 3.1.3 Identifikátor DLCI

Každý virtuální okruh musí být nějak označen. K tomu se používá desetibitové číslo nazývané DLCI. To jednoznačně identifikuje okruh začínající v dané lokalitě. Identifikátory DLCI mají pouze lokální význam a mohou se v síti opakovat. Z hodnoty DLCI a lokality, kde okruh začíná, je tedy možné určit, kam tento okruh vede. Hodnota DLCI se při průchodu Frame Relay přepínači mění. Proto má většina virtuálních okruhů na každém konci jiné DLCI. Hodnotu DLCI pro PVC okruhy přiřazuje poskytovatel sítě. DLCI jsou rezervovány pro různé účely [10]:

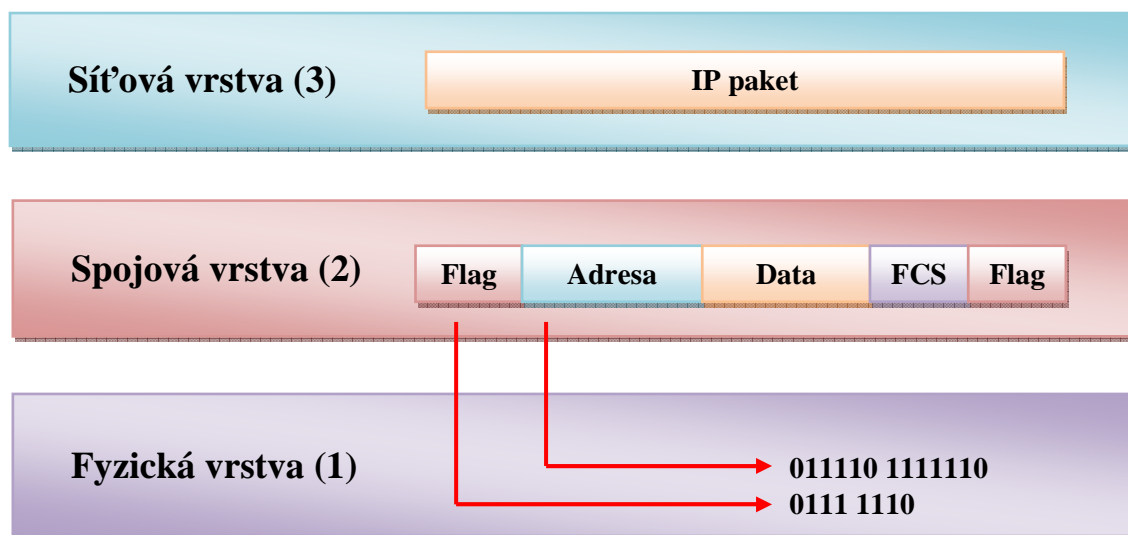
- DLCI 0 a 1023 jsou rezervovány pro management
- DLCI 1 až 15 a 1008 až 1022 slouží pro budoucí použití
- DLCI 992 až 1007 jsou vyhrazeny pro vrstvu 2 Frame Relay doručovací služby
- DLCI 16 až 991 jsou dostupné pro každého uživatele

### 3.1.4 Vícenásobné virtuální okruhy

Přesto, že Frame Relay může přenášet najednou jen jeden paket, mnoho logických spojení může spoluexistovat na jedné fyzické lince. Přístupové zařízení FRAD nebo směrovač připojené do sítě může mít několik virtuálních okruhů končících v různých cílech. Jednotlivé virtuální okruhy lze rozšířit na základě jejího DLCI čísla. Tato schopnost často redukuje zařízení a komplikovanost sítě, protože koncový bod potřebuje pouze jednu fyzickou linku připojenou k rozhraní [11].

## 3.2 Zapouzdření Frame Relay

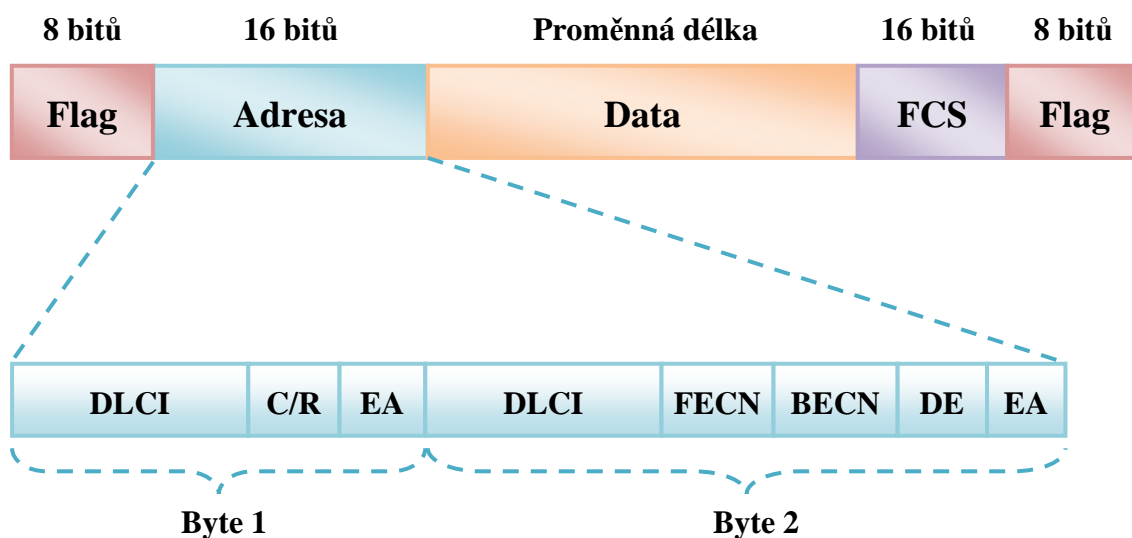
Frame Relay přijímá datové pakety ze síťové vrstvy jako protokoly IP nebo jako IPX, zapouzdří je jako datovou část Frame Relay rámce. Potom je poslán rámec do fyzické vrstvy, kde je přenesen prostřednictvím přenosového média. Pro pochopení principu zapouzdření je důležité porozumět, jak celý proces souvisí s nižšími úrovněmi OSI modelu. Na obrázku 8 je znázorněno, jak Frame Relay zapouzdřuje data určená pro přenos a směr jejich pohybu k fyzické vrstvě pro odeslání [12].



Obr. 8: Zapouzdření Frame Relay

### 3.2.1 Formát rámce

Rámec protokolu Frame Relay je znázorněn na obrázku 9. Má proměnlivou délku do 8189 oktetů. Každý rámec začíná návěštím (flag), která slouží k identifikaci začátku rámce. Formát této značky je reprezentován buď jako hexadecimální číslo 7E nebo jako binární číslo 01111110. To znamená, že šest za sebou následujících jedniček se nesmí vyskytnout na jiném místě rámce než v počáteční nebo koncové značce. Pokud by se šest jedniček mělo objevit v přenášených datech, dojde po páté jedničce k automatickému vložení nuly. Na přijímací straně je nula zase samočinně odstraněna. Tahle technika se někdy nazývá bit stuffing. Pokud se na datovém okruhu právě nepřenášejí žádné rámce, nepřetržitě se vysílají značky.



Obr. 9: Formát rámce

Za počáteční značkou následuje pole s adresou, které může být 2 až 4 byty dlouhé podle použitého adresového schématu. Standardně má pole adresy velikost 2 byty. V něm je nejdůležitější položkou desetibitový DLCI identifikátor. Je rozdělený na dvě části délky 6 a 4 bitů. Každé virtuální spojení je reprezentováno jedinečným DLCI. Tento identifikátor má pouze lokální význam, což znamená, že jsou jedinečné jen na fyzickém kanále, na kterém se vyskytují. Nicméně, zařízení na opačných koncích spojení mohou používat různé DLCI hodnoty k tomu, aby odkázaly na stejné virtuální spojení. Bit C/R (Command/Response bit) určuje, zdali jde o příkaz (C) nebo odpověď (R). Slouží pro účely vyšších vrstev protokolů a není běžně definovaný. Bity EA (Extended Address) nám hodnotou říkají, že bude následovat další bajt hlavičky, v posledním (tedy druhém) bajtu hlavičky má EA bit hodnotu 1. To nám umožňuje v dalších verzích protokolu pouhou změnou těchto bitů prodloužit hlavičku např. na tři nebo čtyři bajty. Bity FECN, BECN a DE se používají k řízení toku dat.

Za hlavičkou následuje datová část paketu, která může mít proměnnou délku. Velikost tohoto pole se stanovuje mezi koncovými zařízeními. Maximální délka této části je 8 kB. FCS (Frame Check Sequence) je kontrolní součet, který určuje, zda nedošlo k nějaké chybě v adresovém poli během přenosu. FCS je vypočítáno před přenosem odesílajícím uzlem a výsledek je uložen v FCS poli. Na vzdáleném konci je vypočítána druhá FCS hodnota. Jestliže jsou výsledky stejné, rámec je zpracován. Pokud dojde k rozdílu je rámec vyřazen. Každý rámec je zakončen koncovou značkou, která oznamuje konec rámce. Pro tu platí totéž co pro počáteční značku.

Na obrázku 10 je část rámce Frame Relay, zachyceného protokolovým analyzátozem. Výše je popsána hlavička rámce, za ní následuje pole FRF.3 (standard Frame Relay Fora pro multiprotokolovou enkapsulaci). Ten v položce NLPID (Network Layer Protocol ID) říká jaký protokol je v tomto rámci přenášen. Za ním je již běžná hlavička IP protokolu [4].

```
Frame Relay: Type: User-Data
Frame Relay: FCS: 0xF589
Frame Relay: Frame - Relay Header: 6225
Frame Relay: 000110..0101... DLCI: 101
Frame Relay: .....0..... C/R
Frame Relay: .....0..... EA1
Frame Relay: .....0... FECN
Frame Relay: .....0.. BECN
Frame Relay: .....0. DE
Frame Relay: .....1 EA2
FRF.3: Control is UI
FRF.3: NLPID is IP
IP: Version = 4
IP: Total Length = 100
IP: Identification = 15
IP: Flags & Fragment Offset: 0x0000
IP:   .0..... May Fragment
IP:   ..0..... Last Fragment
IP:   Fragment Offset = 0 [Bytes]
IP: Time to Live = 255 [Seconds/Hops]
IP: Protocol: 1 ICMP
IP: Header Checksum = 0xA585
IP: Source Address = 10.1.1.2
IP: Destination Address = 10.1.1.1
... atd ...
```

Obr. 10: Hlavička rámce Frame Relay s IP paketem [4]

### 3.3 Druhy topologií

Pokud jsou více než dvě místa spojena, musíme zvažovat topologii spojení mezi nimi. Topologie je mapa nebo virtuální rozložení sítě. Je důležité zvážit topologii z několika pohledů jako z hlediska funkce sítě a zařízení používaných k budování sítě. Kompletní podoba pro návrh, realizaci, provoz a údržbu zahrnuje přehledové mapy, logické mapy spojení, funkční mapy a mapování adres zobrazují detailně zařízení a kanálové linky. Frame Relay sítě spojují desítky a dokonce stovky míst. Vzhledem k rozsahu množství poskytovatelů služeb se můžou základní návrhy sítě v určitých bodech rozcházet.



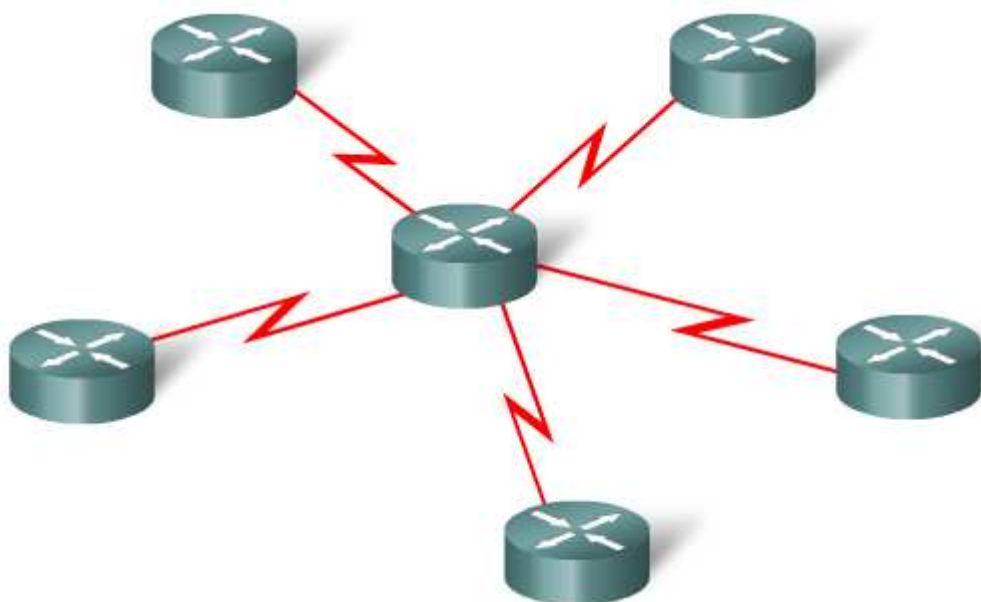
Dokumentace topologie může být velmi komplikovaný proces. Nicméně, každá síť nebo část sítě, může být viděna jako jedna ze tří druhů topologií [12]:

- Hub and Spoke
- Full Mesh
- Partial Mesh

### 3.3.1 Hub and Spoke

Hub and spoke je klasická hvězdicová topologie zobrazená na obrázku 11. Je nejjednodušší technologií Frame Relay, kdy na jeden hlavní server (hub) připadá více vzdálených serverů působících jako „spoke“ zapojených vzájemně do hvězdice. Při realizaci je každé vzdálené místo s centrálním místem propojeno virtuálním okruhem.

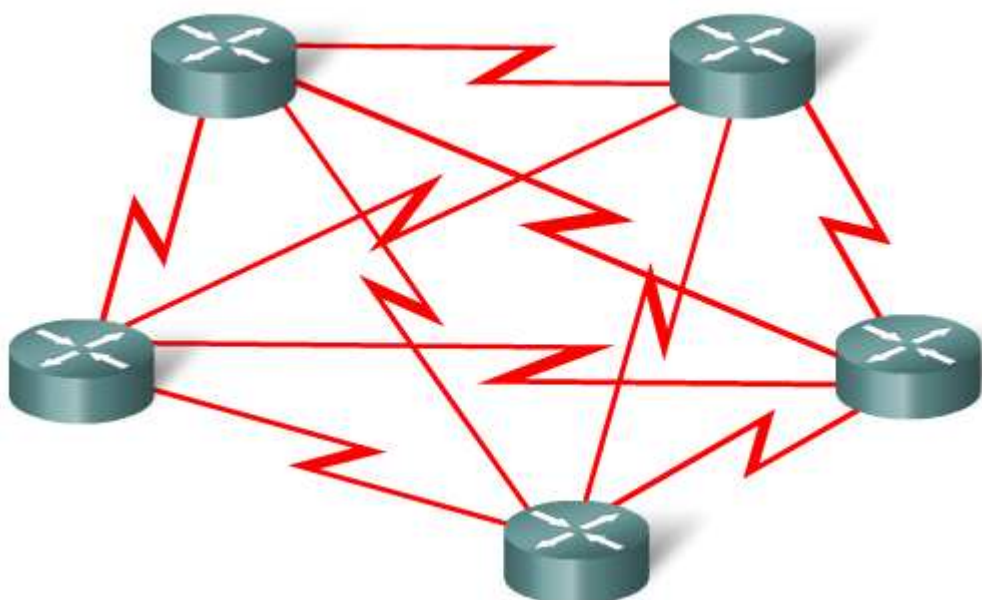
Toto řešení není ideální, neboť v případě selhání jednoho z hlavních virtuálních okruhů způsobí ztrátu konektivity vzdáleného bodu. Další možný problém nastává ve chvíli, kdy je mezi vzdálenými místy přenášeno velké množství dat. Tyto data jsou v tomto případě na dvou virtuálních okruzích, místo jednoho, což zvyšuje náklady. Možným řešením by mohlo být vytvoření trvalého virtuálního okruhu právě pro dva vzdálené servery [13].



Obr. 11: Hub and Spoke [12]

### 3.3.2 Full Mesh

Jedná se o vícecestnou topologii, která je zobrazena na obrázku 12. Nastává ve chvíli, kdy všechny servery jsou vzájemně propojeny. Hodí se v situaci, ve které jsou služby zpřístupněny geografickým rozptýlením a s vysoce spolehlivým přístupem k nim, který je vyžadován. Použití vyhrazeného vedení vzájemně spojených míst, dodatečná sériová rozhraní a vedení zvyšují výdaje. Topologie na obrázku 12 vyžaduje deset vyhrazených vedení, aby vzájemně propojili jednotlivá místa. Z toho vyplývá, že toto řešení je nejfunkčnější, avšak zároveň nejnákladnější.



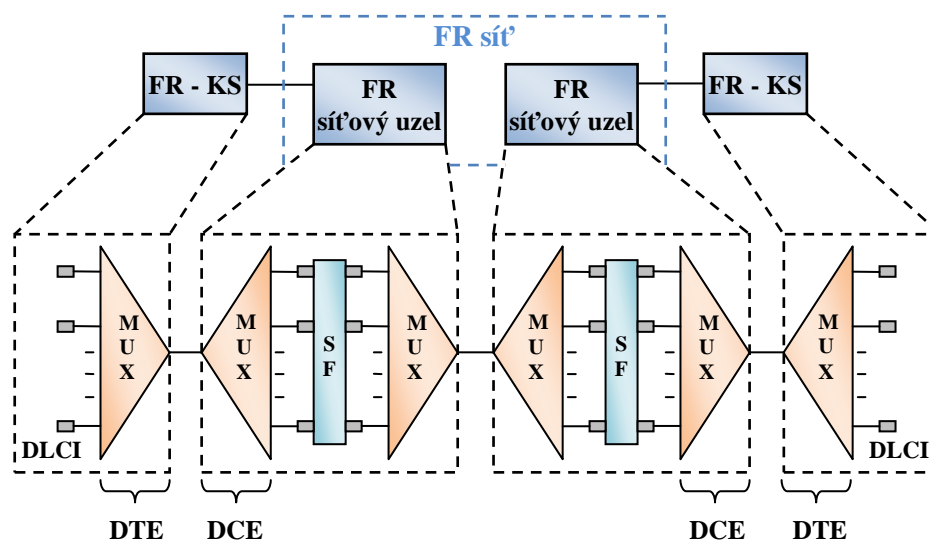
Obr. 12: Full Mesh [12]

### 3.3.3 Partial Mesh

Partial mesh představuje částečnou vícecestnou topologii. U částečného meshe je požadováno více vzájemných spojení než u hvězdicového uspořádání, alespoň dva trvalé virtuální okruhy, které se připojují k síti Frame Relay. Na druhou stranu není vyžadováno tolik vzájemných propojení serverů jako u Full mesh. Pro rozlehlé sítě je vícecestná topologie zřídka cenově dostupná, protože počet požadovaných spojení se dramaticky zvýšila. Sporná otázka není v ceně hardwaru, ale protože je teoretický limit méně než 1000 virtuálních okruhů na spojení. V praxi je však tento limit menší. Z tohoto důvodu, jsou větší sítě obecně konfigurovány právě v částečné vícecestné topologii.

### 3.4 Adresování ve Frame Relay

Z hlediska adresování představuje Frame Relay síť propojené statistické multiplexery, obrázek 13. Pro datovou komunikaci přes Frame Relay síť musí být vytvořeno, jak už bylo uvedeno virtuální spojení konec – konec mezi dvěma příslušnými koncovými systémy. Virtuální spojení konec – konec představuje logické spojení multiplexních portů ve dvou vzájemně komunikujících koncových systémech pro potřebu výměny dat v obou směrech. Frame Relay spojení jsou duplexní, tj. umožňují současné vysílání a příjem dat.



Obr. 13: FR – síť jako propojené statistické multiplexery

Úlohou Frame Relay síťových uzlů je postoupit dále přijímané rámce, což se nazývá jako spojovací funkce (SF) Frame Relay síťového uzlu. Pro každé fyzické vstupní vedení jsou v síťovém uzlu vytvořeny spojovací tabulky, ve kterých pro každou možnou vstupní hodnotu DLCI (logický vstupní kanál) je dáno fyzické výstupní vedení a výstupní hodnota DLCI (logický výstupní kanál). Když přijde rámec do síťového uzlu, přečte se DLCI hodnota na základě spojovací tabulky je přiděleno výstupní vedení, jakož i výstupní DLCI. Rozeznáváme dva druhy FR sítí a to s globálním a lokálním adresováním. Globální adresování představuje zvláštní případ, ve kterém DLCI má celosíťový význam. Cílem tohoto způsobu je zjednodušení adresování v síti. Protože ale může být jedno DLCI použito jen jedenkrát, omezuje se tím počet možných spojení v síti. Při lokálním adresování se jedná o obecnější případ, ve kterém má DLCI lokální význam. Každá DLCI hodnota může potom být používána v síti vícekrát [5].

### 3.5 Mapování adres

Předtím, než je směrovač schopný přenášet data přes Frame Relay, potřebuje vědět, které DLCI mapy adresuje do vrstvy 3 ze vzdáleného cíle. Cisco směrovače podporují všechny protokoly síťové vrstvy přes Frame Relay jako IP, IPX a AppleTalk. Způsob provedení adresování DLCI map může být provedeno [12]:

- Dynamickým mapováním
- Statickým mapováním

#### 3.5.1 Dynamické mapování

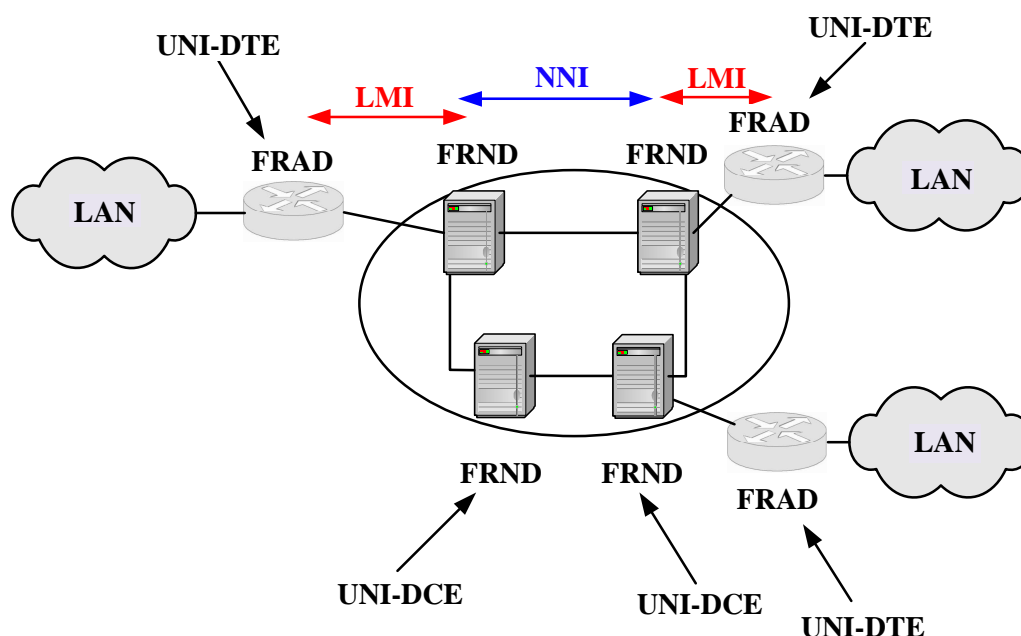
Dynamické mapování adres spoléhá na inverzní ARP protokol k řešení dalšího skoku adresy síťového protokolu k DLCI hodnotě. Inverzní protokol překládá adresy vrstvy 2 na adresy vrstvy 3. Směrovač posílá inverzní ARP žádosti na PVC k zjištění adresy vzdáleného zařízení připojeného k Frame Relay síti. Směrovač používá odpovědi k tomu, aby obsadily adresy do DLCI tabulky mapování na směrovači nebo přístupovém serveru. Směrovač sestaví a udržuje tabulku mapování, která obsahuje všechny rozlišené inverzní ARP žádosti. Na Cisco směrovačích je inverzní ARP standardně povoleno pro všechny protokoly, které jsou povoleny na fyzických rozhraních. Inverzní ARP, není posláno protokolům, které nejsou na fyzickém rozhraní povoleny.

#### 3.5.2 Statické mapování

Uživatel si může vybrat k převýšení dynamického inverzního ARP mapování manuální nahrazení statickým mapováním pro další skok adresy k DLCI. Statické směrování pracuje podobně jako dynamické inverzní ARP spojení. Nemůžeme používat inverzní ARP a příkaz pro statické mapování pro stejné DLCI a protokol. Například používání statického mapování adres je situace, kdy směrovač na druhé straně Frame Relay sítě nepodporuje dynamické inverzní ARP pro specifický síťový protokol. Pro poskytnutí přístupnosti, je u statického mapování vyžadováno dokončení vzdálené adresy síťové vrstvy k rozlišení DLCI. Další příklad je na Hub-and-spoke Frame Relay síti. Jelikož spoke směrovače nemají přímou souvislost mezi sebou, inverzní ARP mezi nimi nefunguje. Dynamické směrování spoléhá na přítomnost přímého spojení mezi dvěma konci, proto se použije statické mapování k vzájemné dosažitelnosti.

### 3.6 Rozhraní v síti FR

Na obrázku 14 jsou zobrazeny rozhraní, která působí v síti Frame Relay. Rozhraní NNI (Network-to-Network Interface) tvoří svazek mezi sousedními DCE zařízeními. Rozhraní UNI (User-to-Network Interface) připojuje koncové zařízení DTE k síťovému zařízení DCE. Na straně uživatele je označeno jako UNI – DTE a na straně sítě jako UNI – DCE. Pro výměnu signálních zpráv mezi UNI – DTE (FRAD) a UNI – DCE (FRND – Frame Relay Network Device) slouží protokol LMI.



Obr. 14: Rozhraní v síti FR [14]

#### 3.6.1 Protokol LMI

Kromě výměny signálních zpráv poskytuje LMI monitorování stavu permanentních virtuálních okruhů. V podstatě LMI udržuje činnost mechanismu, který poskytuje stavové informace o spojení mezi FR směrovačem (DTE) a Frame Relay přepínačem (DCE). Přibližně každých deset sekund koncové zařízení vyzývá síť požadavkem o danou informaci. Jestliže síť neodpovídá s požadovanou informací, uživatelské rozhraní může uvažovat o ukončení spojení. Když síť odpovídá zprávou FULL STATUS zahrnuje stavovou informaci o DLCI, která jsou přidělena k lince. Koncové zařízení může použít tuto informaci k rozhodnutí, zda logická spojení jsou schopna přenášet data.

První doporučení LMI bylo vypracováno organizací ANSI v podobě protokolu Annex D (specifikace ANSI T1.617). ITU-T tento protokol převzala a upravila do podoby protokolu Annex A (specifikace ITU-T Q.933). Obdobná signalizace je přenášena mezi zařízeními UNI – DCE nebo mezi propojenými sítěmi FR protokolem NNI [12, 14].

### 3.6.2 Protokol Annex A

Slouží pro přenos informací UNI – DTE o nově definovaných permanentních okruzích na straně UNI – DCE. Je určen pro detekci zrušení, poškození, případně nedostupnosti virtuálního okruhu. Další jeho funkcí je, že zajišťuje testování integrity dat. Výměna zpráv mezi UNI – DTE a UNI – DCE probíhá periodicky prostřednictvím virtuálního okruhu s DLCI = 0. UNI – DTE generuje každých 10 sekund požadavek na stav integrity vedení a po 6 otázkách generuje žádost na komplexní informace o stavech jednotlivých permanentních virtuálních okruhů [15].



Obr. 15: Formát LMI rámce

- Flag – návěští začátku a konce rámce
- LMI DLCI – identifikace LMI rámce, vyhrazené pole pro signalizaci
- UII (Unnumbered Information Indikator) – pole nečíslovaných rámců
- PD (Protocol Discriminator) – indikátor zprávy LMI
- CR (Call Reference) – rezerva (0)
- MT (Message Type) – rozlišení zprávy (Status Enquiry, Full Status Enquiry)
- Data – přenášená data příslušné LMI zprávy
- FCS – zabezpečení pole rámce

### 3.7 Bezpečnost v síti

V současnosti svět zasahuje jedna zpráva za druhou o útocích do počítačových sítí nebo počítačových databází, proto je nutno i klasickou technologii jako je Frame Relay mít zabezpečenou proti možným odposlechům. Jestliže se podíváme až k samým základům, na kterých je Frame Relay postavena, zjistíme, že je do jisté míry podobna síti pevných linek. Identifikátor DLCI jednoznačně svazuje dva body, které si přejí navzájem komunikovat. Jelikož je definování virtuální cesty provedeno na druhé vrstvě OSI modelu, je používání tunelovacích protokolů také na druhé vrstvě zbytečné. Pomocí virtuálních spojení, tak lze i na veřejné síti Frame Relay vybudovat vlastní firemní virtuální privátní síť.

Bezpečnost takovéto virtuální privátní sítě je zvýšena používáním permanentních virtuálních spojení, jež jsou nastavena poskytovatelem, a uživatel je tedy nemá možnost nijak měnit. Šance tajně přijímat data z cizích lokalit je téměř nulová. Pokud však přeci jenom nějaký ten rámec zabloudí, je nepravděpodobné, že by měl pro příjemce smysluplný význam. Navíc, i kdyby teoreticky nějaký smysl měl, stejně se nedostane do prezentační vrstvy (je možné si na této vrstvě prohlížet data), protože bude skartován protokolem, který hlídá správně fungující spojení. Rámec bude jednoduše shledán jako cizí, zbloudilý, a tedy odstraněn.

Většina uživatelů se s takto garantovanou spolehlivostí zřejmě spokojí. Ovšem najdou se uživatelé, pro které je bezpečnost na prvním místě. Možnost špatné, ať už úmyslné či neúmyslné, konfigurace spojení nebo výskyt jiného výstřelku přímo ohrožujícího bezpečnost dat se jistě nedá stoprocentně vyloučit. V takovýchto případech nastupuje ke slovu šifrování. Zašifrováním obsahu rámce Frame Relay je možné dosáhnout přidáním zvláštního zařízení před zařízení FRAD. Toto zařízení zašifruje uživatelská data, která jsou v takto upravené podobě transparentně přenesena sítí. Frame Relay se nestará o to, v jakém stavu jsou jí data předkládána, či s jakým zařízením to vůbec komunikuje. Frame Relay musí jenom ve správném pořadí přenést posloupnost uživatelských nul a jedniček. Není od věci ještě připomenout, že s šifrováním rostou nároky na přenosovou šířku pásma, protože kódovací algoritmy spotřebují nějaké bajty na uložení pomocných informací [15].

## 4 Návrh a realizace Frame Relay sítě

Tato kapitola se věnuje návrhu topologie Frame Relay sítě v laboratorních podmínkách a její následné konfiguraci na Cisco směrovačích série 2800 obrázek 16, prostřednictvím rozhraní příkazového řádku CLI (Command Line Interface).



Obr. 16: Cisco 2800 [16]

Konfigurační příkazy slouží ke konfiguraci směrovačů vyráběných společností Cisco. Na jiných platformách se může konfigurace, vzhledem ke schopnostem daného vybavení, výrazně lišit. Ve Frame Relay síti jsou konfigurována zařízení jako:

- Koncová přístupová zařízení (směrovače)
- Frame Relay přepínače

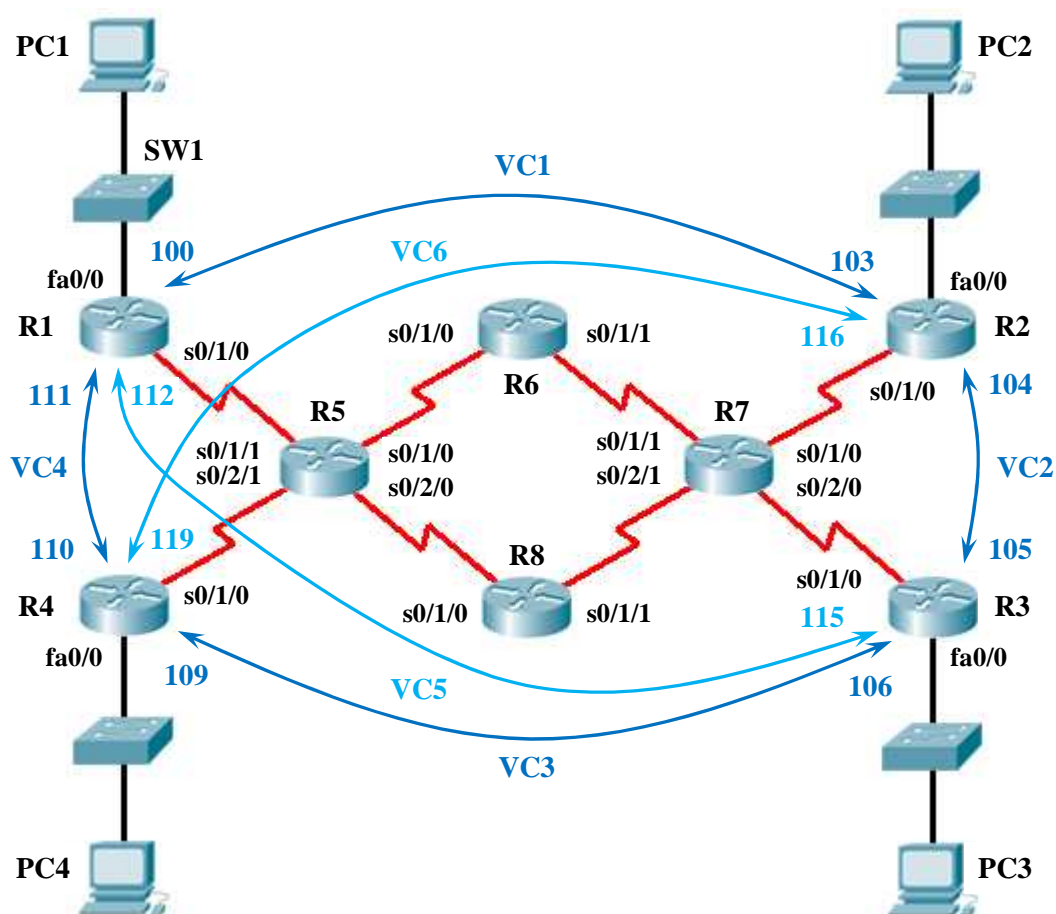
Důležité kroky, které je nutno provést pro nastavení FR přepínačů a směrovačů, aby se chovaly a plnily funkci v síti jako Frame Relay zařízení jsou:

- Aktivace přepínacího procesu
- Povolení Frame Relay zapouzdření (enkapsulace)
- Definování přepínacích tabulek virtuálních okruhů



## 4.1 Topologie sítě

Navržená topologie sítě v laboratorních podmínkách zobrazená na obrázku 17 se skládá z použití čtyř koncových přístupových zařízení (směrovačů) a čtyř Frame Relay přepínačů, které tvoří částečnou vícecestnou topologii neboli tzv. „síťový mrak“, kdy každý přepínač je propojen s dalšími dvěma sousedními FR přepínači. Byly zvoleny čtyři koncové stanice, které jsou propojeny se směrovači prostřednictvím přepínačů SW.



Obr. 17: Návrh Frame Relay sítě

V dané síti bylo vytvořeno šest virtuálních okruhů, které spojují vzájemně jednotlivá koncová místa PC1 až PC4. Virtuální okruh VC1 tvoří virtuální spojení mezi směrovači R1 a R2, VC2 mezi R2 a R3, VC3 mezi R3 a R4, VC4 mezi R4 a R1, VC 5 mezi R1 a R3, VC 6 mezi R2 a R4 pro obousměrnou komunikaci.

Pro navrhnutou topologii bylo zvoleno podsítování (subnetting) typu VLSM, respektive podsítování s variabilní délkou masky [17]. Tento typ má velkou výhodu oproti klasickému podsítování, že je efektivněji využit rozsah IP adres. Pro vytvoření typu VLSM je nejprve nutné provést analýzu navrhnuté topologie Frame Relay sítě.

- Adresa k dispozici: 192. 168. 0. 0/24
- Počet sítí: 10
- Maximální počet adres:  $2 \Rightarrow 2+2 \leq 2^2 = 4$  IP adresy

Frame Relay síť se skládá ze čtyř přepínačů tvořící částečnou vícecestnou topologii. Avšak v rámci podsítování patří do této sítě sériová rozhraní směrovačů R1 až R4, která představují vstup a výstup do FR sítě. Tyto sériová rozhraní jsou rozdělena na pod-rozhraní (subinterface) pro zakončení jednotlivých virtuálních okruhů, které tvoří šest podsítí. Zbylé čtyři sítě představují sítě mezi koncovými body (PC) a fastethernetovými rozhraními směrovačů. Tabulka 1 obsahuje IP adresy na sériových pod-rozhraních směrovačů. V tabulce 2 jsou IP adresy zbylých čtyř koncových sítí.

Zařízení	Rozhraní	IP adresa	Maska/prefix
R1	s0/1/0.100	192. 168. 0. 1	255. 255. 255. 252/30
	s0/1/0.111	192. 168. 0. 14	255. 255. 255. 252/30
	s0/1/0.112	192. 168. 0. 17	255. 255. 255. 252/30
R2	s0/1/0.103	192. 168. 0. 2	255. 255. 255. 252/30
	s0/1/0.104	192. 168. 0. 5	255. 255. 255. 252/30
	s0/1/0.116	192. 168. 0. 21	255. 255. 255. 252/30
R3	s0/1/0.105	192. 168. 0. 6	255. 255. 255. 252/30
	s0/1/0.106	192. 168. 0. 9	255. 255. 255. 252/30
	s0/1/0.115	192. 168. 0. 18	255. 255. 255. 252/30
R4	s0/1/0.109	192. 168. 0. 10	255. 255. 255. 252/30
	s0/1/0.110	192. 168. 0. 13	255. 255. 255. 252/30
	s0/1/0.119	192. 168. 0. 22	255. 255. 255. 252/30

Tabulka 1: IP adresy pod-rozhraní

Zařízení	Rozhraní	IP adresa	Maska/prefix
PC1	eth0	192. 168. 0. 25	255. 255. 255. 252/30
R1	fa0/0	192. 168. 0. 26	255. 255. 255. 252/30
PC2	eth0	192. 168. 0. 29	255. 255. 255. 252/30
R2	fa0/0	192. 168. 0. 30	255. 255. 255. 252/30
PC3	eth0	192. 168. 0. 33	255. 255. 255. 252/30
R3	fa0/0	192. 168. 0. 34	255. 255. 255. 252/30
PC4	eth0	192. 168. 0. 37	255. 255. 255. 252/30
R4	fa0/0	192. 168. 0. 38	255. 255. 255. 252/30

Tabulka 2: IP adresy koncových sítí

## 4.2 Základní konfigurace FR zařízení

Při konfiguraci směrovačů (router) a FR přepínačů (switch) je třeba provést základní úkony zahrnující [18]:

- Nastavení jména zařízení
- Heslo privilegovaného módu
- Hesla pro terminál a telnet
- Konfigurace „banner“ módu
- Uložení změn
- Ověření základní konfigurace

Konfigurace Cisco zařízení je provedena prostřednictvím konzolových portů. V operačním systému Linux je nutno zapnout terminál a v něm použít program minicom verze 2.2 pro spuštění uživatelského módu daného zařízení. Dále je zapotřebí nastavit v minicomu sériový port na rychlost 9600 bps.

Router>

Příkaz **enable** slouží pro vstup do privilegovaného EXEC módu. Tento režim dovoluje uživateli provádět konfigurační změny na zařízení. Pro vstup do komplexního konfiguračního módu je používán příkaz **configure terminal**. Nastavení jména daného zařízení se provede pomocí příkazu **hostname**. Pro příklad je uvedena konfigurace směrovače R1. Základní konfigurace R1 až R8 jsou uvedeny v příloze I.

```
Router>enable
Router#configure terminal
Router(config)#hostname R1
R1(config)#
```

Nyní je třeba nakonfigurovat heslo (**enable secret**), které je používáno pro vstup do privilegovaného EXEC módu. Podoba hesel zaleží na zařízení, které je zrovna konfigurováno. Pro směrovač R1 je použito heslo **router1**, ostatní hesla pro jednotlivá zařízení jsou podle jejich čísla. Avšak použitím v praxi, by měla mít hesla výrazně složitější kódy. Pro zakódování terminálu a telnetu je využito stejné heslo **router1**. Dále je vhodné nastavit **logging synchronous**, aby hlášení automaticky vypisovaná směrovačem byla vždy na novém řádku a nepřerušovala psaní příkazů. Příkaz **login** slouží pro potvrzení nastavení hesla.

```
R1(config)#enable secret router1
R1(config)#line console 0
R1(config-line)#logging synchronous
R1(config-line)#password router1
R1(config-line)#login
R1(config)#line vty 0 4
R1(config-line)#password router1
R1(config-line)#login
```

V konfiguračním módu můžeme nastavit zprávu dne, která se zobrazí při přihlášení na dané zařízení pomocí **banner motd**. Pro ohraničení začátku a konce zprávy je použit znak #. Ohraničení umožňuje mít zprávu delší přes více řádků. Vhodná konfigurace banneru je součástí dobrého bezpečnostního plánu. Banner by měl varovat před neoprávněným vstupem. Nikdy nepoužívat zprávy typu např. „welcome“.

```
R1(config)#banner motd # Neopraveny vstup zakazan!!! #
```

### 4.3 Frame Relay přepínače

Pro laboratorní účely, bude Frame Relay přepínač simulován pomocí Cisco směrovače. K tomu, aby se Cisco směrovač začal chovat jako Frame Relay přepínač, je potřeba spustit proces přepínání (switching) Frame Relay rámců. Jelikož jsou rámce mezi zařízeními ve Frame Relay síti předávány na základě jejich DLCI identifikátoru, ať již mezi koncovým zařízením a Frame Relay přepínačem nebo mezi Frame Relay přepínači.

U Cisco směrovače, který bude zastávat úlohu FR přepínače musí být vypnutý proces směrování paketů na základě IP adresy. V navržené síti tvoří topologii čtyři FR přepínače R5 až R8. Pro ukázkou a popis nastavení bude použit Frame Relay přepínač R5. Nastavení FR přepínačů R5 až R8 jsou uvedeny v příloze I.

```
R5(config)#no ip routing
R5(config)#frame-relay switching
```

Na rozhraních, kterými bude Frame Relay přepínač propojen se sousedními FR přepínači nebo koncovými přístupovými zařízeními Frame Relay sítě, je potřeba nastavit Frame Relay enkapsulaci, typ Frame Relay rozhraní DCE nebo DTE. Mezi Frame Relay přepínači (tedy většinou v síti poskytovatele připojení) vždy vystupuje jedno zařízení jako DTE a druhé na téže lince jako DCE [19].

V případě připojování koncového přístupového zařízení k síti poskytovatele, vystupuje koncové zařízení jako DTE a Frame Relay přepínač na druhé straně linky jako DCE. Pokud se jedná o stranu DCE je nutno na této straně sériové linky nastavit přenosovou rychlost linky neboli tzv. časování sériové linky (clock rate). Pro lepší přehled zařízení v síti je možné použít popis (description) pro každé rozhraní. Na závěr nastavení je důležitým příkazem **no shutdown**, který aktivuje na zařízení dané rozhraní.

```
R5(config)#interface serial 0/1/1
R5(config-if)#encapsulation frame-relay
R5(config-if)#frame-relay intf-type dce
R5(config-if)#clock rate 115200
R5(config-if)#description R5 pripojeno k R1
R5(config-if)#no shutdown
```

Dále je nutné nakonfigurovat dle obrázku 17 (schéma sítě) zbylá sériová rozhraní pro FR přepínač R5. V níže uvedených konfiguracích jsou uváděny pouze nastavení, v kterých se jednotlivá rozhraní liší.

```
R5(config)#interface serial 0/1/0
R5(config-if)#frame-relay intf-type dte
R5(config-if)#description R5 připojeno k R6

R5(config)#interface serial 0/2/1
R5(config-if)#frame-relay intf-type dce
R5(config-if)#clock rate 125000
R5(config-if)#description R5 připojeno k R4

R5(config)#interface serial 0/2/0
R5(config-if)#frame-relay intf-type dte
R5(config-if)#description R5 připojeno k R8
```

V dalším kroku je nutné staticky definovat přepínací tabulky virtuálních kanálů pro jednotlivé, na rozhraní používané DLCI, jež definují, jak bude s příchozím rámcem zacházeno. Záznamy, podle nichž se provádí Frame Relay přepínání, obsahují DLCI, které je očekáváno při vstupu rámce tímto rozhraním, výstupní rozhraní a DLCI, kterým je rámec označen při odesílání výstupním rozhraním. Počet přepínacích tabulek bude na každém rozhraní přepínače tolik, kolik přes toto rozhraní prochází virtuálních okruhů [19]. Podoby přepínacích tabulek pro jednotlivá rozhraní FR přepínačů R5 až R8 jsou opět v příloze I.

```
R5(config)#interface serial 0/1/1
R5(config-if)#frame-relay route 100 interface serial 0/1/0 101
R5(config-if)#frame-relay route 111 interface serial 0/2/1 110
R5(config-if)#frame-relay route 112 interface serial 0/2/0 113

R5(config)#interface serial 0/1/0
R5(config-if)#frame-relay route 101 interface serial 0/1/1 100
R5(config-if)#frame-relay route 118 interface serial 0/2/1 119

R5(config)#interface serial 0/2/0
R5(config-if)#frame-relay route 108 interface serial 0/2/1 109
R5(config-if)#frame-relay route 113 interface serial 0/1/1 112
```

```

R5(config)#interface serial 0/2/1
R5(config-if)#frame-relay route 109 interface serial 0/2/0 108
R5(config-if)#frame-relay route 110 interface serial 0/1/1 111
R5(config-if)#frame-relay route 119 interface serial 0/1/0 118

```

Po dokončení nebo modifikaci konfigurace Frame Relay přepínačů je vhodné provést ověření správnosti konfigurace, zda Frame Relay přepínací tabulka odpovídá kladeným požadavkům. Následující příkaz vypíše záznamy, které jsou ve Frame Relay přepínací tabulce obsaženy. Záznamy v přepínací tabulce vždy musí definovat směry komunikace pro libovolný virtuální okruh [19]. Pro příklad je uvedena přepínací tabulka FR přepínače R5. Ostatní záznamy pro FR přepínače jsou uvedeny v příloze II.

```

R5#show frame-relay route

```

Input Intf	Input Dlci	Output Intf	Output Dlci	Status
Serial0/1/0	101	Serial0/1/1	100	active
Serial0/1/0	118	Serial0/2/1	119	active
Serial0/1/1	100	Serial0/1/0	101	active
Serial0/1/1	111	Serial0/2/1	110	active
Serial0/1/1	112	Serial0/2/0	113	active
Serial0/2/0	108	Serial0/2/1	109	active
Serial0/2/0	113	Serial0/1/1	112	active
Serial0/2/1	109	Serial0/2/0	108	active
Serial0/2/1	110	Serial0/1/1	111	active
Serial0/2/1	119	Serial0/1/0	118	active

#### 4.4 Koncová přístupová zařízení

Koncové zařízení bude v laboratorní topologii zastoupeno směrovačem, jenž bude do Frame Relay sítě připojen pomocí svého sériového rozhraní. V navržené síti se nachází čtyři koncová zařízení R1 až R4. Nejprve bude provedeno nastavení fastethernetových rozhraní směrovačů pro připojení ke koncovým stanicím PC1 až PC4. IP adresy budou nastaveny podle tabulky 2. Níže bude uveden příklad nastavení směrovače R1. Nastavení směrovačů R1 až R4 jsou v příloze I.

```

R1(config)#interface fastethernet 0/0
R1(config-if)#ip address 192.168.0.26 255.255.255.252
R1(config-if)#description R1 pripojeno k PC1
R1(config-if)#no shutdown

```

Na sériovém rozhraní, kterým bude koncové zařízení připojeno do FR sítě, je potřeba na druhé vrstvě referenčního modelu opět nakonfigurovat Frame Relay enkapsulaci jako na FR přepínačích. Jelikož bude pro ukončení jednotlivých virtuálních okruhů použito pod-rozhraní, nebude na sériovém rozhraní konfigurována IP adresa. V závislosti na konfiguraci Frame Relay přepínače, je potřeba také zvolit, o jaký typ (z pohledu časování linky) Frame Relay zařízení se jedná. V tomto případě budou koncová přístupová zařízení vystupovat v roli DTE.

```
R1(config)#interface serial 0/1/0
R1(config-if)#encapsulation frame-relay
R1(config-if)#no ip address
R1(config-if)#frame-relay intf-type dte
R1(config-if)#description R1 připojeno k R5
R1(config-if)#no shutdown
```

Při konfiguraci zakončení virtuálních okruhů na koncovém přístupovém zařízení máme několik možností jak postupovat. Jednou z možností zakončení virtuálních okruhů je jejich konfigurace na samostatných pod-rozhraních [21]. Vyšší přehlednost tohoto přístupu však bude zaplácena větším počtem podsítí a s tím spojenou větší spotřebou IP adres.

Další možností je zakončení několika virtuálních okruhů přímo na jedno rozhraní. Výhodou takovéto konfigurace je pak skutečnost, že všechny tyto okruhy patří do jednoho síťového segmentu z pohledu podsítování. Nedochozí tedy k plýtvání IP adresami způsobeného velkým množstvím podsítí potřebných na dvoubodové linky. Touto cestou probíhala konfigurace jednotlivých pod-rozhraní.

Pod-rozhraní, které se využije pro zakončení virtuálního okruhu, je vytvořeno na rozhraní, jímž je zařízení připojeno do Frame Relay sítě. Způsob označení pod-rozhraní se provádí číslem uváděným za původním rozhraním, které je odděleno „tečkou“. Pro toto číslo je vhodné použít stejnou hodnotu, které odpovídá identifikátoru DLCI označující zakončení virtuálního okruhu na daném pod-rozhraní [19]. Takové označení výrazně zlepší přehlednost konfigurace. Klíčové slovo point-to-point definuje typ dvoubodového spoje. Dále je potřeba na pod-rozhraní uvést IP adresu z tabulky 1 a DLCI virtuálního okruhu jenž je na něm zakončen. Pro příklad je uvedena konfigurace všech pod-rozhraní na směrovači R1.



```
R1(config)#interface serial 0/1/0.100 point-to-point
R1(config-subif)#ip address 192.168.0.1 255.255.255.252
R1(config-subif)#description virtualni okruh 1
R1(config-subif)#frame-relay interface-dlci 100
R1(config-fr-dlci)#no shutdown

R1(config)#interface serial 0/1/0.111 point-to-point
R1(config-subif)#ip address 192.168.0.14 255.255.255.252
R1(config-subif)#description virtualni okruh 4
R1(config-subif)#frame-relay interface-dlci 111

R1(config)#interface serial 0/1/0.112 point-to-point
R1(config-subif)#ip address 192.168.0.17 255.255.255.252
R1(config-subif)#description virtualni okruh 5
R1(config-subif)#frame-relay interface-dlci 112
```

## 4.5 Konfigurace koncových stanic

Nastavení koncových stanic (PC1 až PC4) proběhne v příkazovém řádku terminálu pod přihlášením jako administrátor. IP adresy koncovým stanicím budou přiřazeny, dle podsítování z tabulky 2. Dále je důležité pro tyto stanice nastavit tzv. „bránu“ (gateway) pro přístup k fastethernetovému rozhraní směrovače. Příklad konfigurace je uveden pro PC1. Koncové stanice PC2 až PC4 jsou nastaveny dle tabulky 2. Pro ověření správného nastavení IP adresy a brány použijeme příkaz **route -n**.

```
ifconfig eth0 192.168.0.25 netmask 255.255.255.252
route add default gw 192.168.0.26
```

## 4.6 Aktivace směrovacího protokolu

V poslední řadě je důležité na všech čtyřech směrovačích (R1 až R4) aktivovat směrovací protokol RIP (Routing Information Protocol), aby byly směrovače ochotny vysílat a přijímat směrovací informaci. Samotným spuštěním příkazu **router rip** není definováno, na kterých rozhraních směrovače má proces informace propagovat (šířit) resp. naslouchat informacím, které šíří jiné směrovače a o jaké síti se má jednat [20].

Je tedy nezbytné explicitně vybrat sítě, které mají být propagovány. Jejich výběrem se začne na rozhraních, které sítím náleží, směrovací informace nejen šířit, ale také přijímat. Pro směrování byla použita verze 2 protokolu RIP, která umožňuje odesílání síťové masky ve svých updatech, tudíž podporuje beztržní směrování (efektivní využití adresního prostoru) a umožňuje podporu podsíťových masek v prostředí s podsíťovými maskami proměnné délky (VLSM). Dále nabízí možnost vysílat směrovací tabulky nikoli na všeobecnou, ale na skupinovou adresu. Poskytuje autentizaci směrovacích informací. Níže je uveden příklad pro směrovač R1. Ostatní nastavení na směrovačích bude obsahovat sítě, které chceme propagovat.

```
R1(config)#router rip
R1(config-router)#version 2
R1(config-router)#network 192.168.0.0
R1(config-router)#network 192.168.0.12
R1(config-router)#network 192.168.0.16
R1(config-router)#network 192.168.0.24
```

## 4.7 Ověření funkčnosti Frame Relay sítě

Pro možnost ověření funkčnosti tak i řešení problémů s nefunkčností Frame Relay sítě nám nabízí Cisco zařízení sadu příkazů, kterými lze získat pomocné informace a informační výpisy. Na jejich základě je možnost zkontrolovat průběh komunikace mezi Frame Relay přepínačem (na straně poskytovatele) a koncovým zařízením (na straně zákazníka), zobrazit aktuální přepínací tabulku nebo zkontrolovat mapování IP adres na DLCI identifikátory virtuálních Frame Relay okruhů [19]. Pro zobrazení nastavení FR zařízení (viz příloha I) je použit v privilegovaném EXEC módu příkaz **show running config**.

Příkazem **show frame-relay map** lze zkontrolovat dynamické mapování mezi DLCI a pod-rozhraním provedené pomocí IARP. Příklad je uveden pro FR směrovač R1. Ostatní dynamické mapování pro R2 až R4 jsou uvedeny v příloze III.

```
R1#show frame-relay map
Serial0/1/0.100(up): point-to-point dlci, dlci 100(0x64,0x1840),
broadcast, status defined, active
Serial0/1/0.112(up): point-to-point dlci, dlci 112(0x70,0x1C00),
broadcast, status defined, active
Serial0/1/0.111(up): point-to-point dlci, dlci 111(0x6F,0x18F0),
broadcast, status defined, active
```

Informace o typu a statistikách protokolu LMI lze získat příkazem **show frame-relay lmi**. LMI je možné nastavit jako typ Cisco, ANSI a q933a [22]. V tomto případě je standardně nastaven typ Cisco.

```
R1#show frame-relay lmi
LMI Statistics for interface Serial0/1/0 (Frame Relay DTE) LMI
TYPE = CISCO
  Invalid Unnumbered info 0          Invalid Prot Disc 0
  Invalid dummy Call Ref 0          Invalid Msg Type 0
  Invalid Status Message 0          Invalid Lock Shift 0
  Invalid Information ID 0          Invalid Report IE Len 0
  Invalid Report Request 0          Invalid Keep IE Len 0
  Num Status Enq. Sent 470          Num Status msgs Rcvd 471
  Num Update Status Rcvd 0          Num Status Timeouts 0
  Last Full Status Req 00:00:05     Last Full Status Rcvd 00:00:05
```

Informace o jednotlivých virtuálních kanálech na daném rozhraní, lze získat příkazem **show frame-relay pvc**. Příklad uvádí kolik PVC je na sériovém rozhraní směrovače R1 a jakou mají vlastnost. V tomto případě mají označení **Local**, což znamená zakončení virtuálního okruhu na rozhraní. V ukázce je důležitý dále údaj **active**, který uvádí počet aktivních okruhů. Na FR přepínačích je zobrazen údaj **Switched**, jelikož mají úlohu přepínání. Dále jsou uvedeny údaje o virtuálním okruhu s DLCI 100.

```
R1#show frame-relay pvc
PVC Statistics for interface Serial0/1/0 (Frame Relay DTE)

      Active      Inactive      Deleted      Static
Local          3             0             0             0
Switched       0             0             0             0
Unused         0             0             0             0

DLCI = 100, DLCI USAGE = LOCAL, PVC STATUS = ACTIVE, INTERFACE =
Serial0/1/0.100
  input pkts 129          output pkts 200      in bytes 30688
  out bytes 37676         dropped pkts 0       in pkts dropped 0
  out pkts dropped 0      out bytes dropped 0
  in FECN pkts 0          in BECN pkts 0       out FECN pkts 0
  out BECN pkts 0          in DE pkts 0          out DE pkts 0
  out bcast pkts 179      out bcast bytes 36156
  5 minute input rate 0 bits/sec, 0 packets/sec
  5 minute output rate 0 bits/sec, 0 packets/sec
  pvc create time 01:49:27, last time pvc status changed 00:58:26
```

## 5 Řízení provozu ve Frame Relay síti

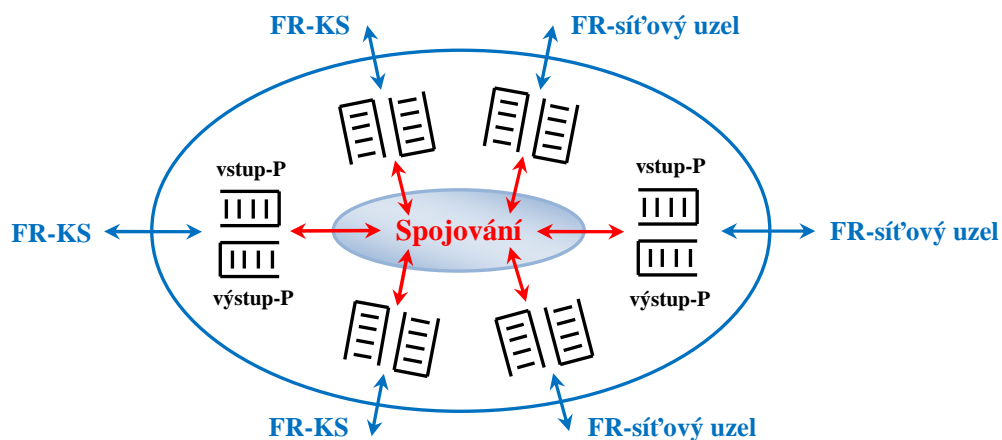
Tato kapitola se zabývá problematikou nastavení parametrů pro řízení provozu a signalizaci přetížení ve Frame Relay síti. Síť Frame Relay zavádí mechanismy, kterými je schopna omezovat síťový provoz od uživatele směrem k síti. Obecně se pro tyto účely využívají dva přístupy **Leaky Bucket** a **Tocken Bucket**. První uvedený přístup je z pohledu síťového provozu mnohem přísnější. V každém okamžiku totiž přesně limituje, jaké množství dat může být odesláno. Druhý přístup je o něco volnější [19]. Nástroje pro řízení provozu budou nakonfigurovány zvlášť pro jednotlivá virtuální spojení.

Nejdůležitější úlohou Frame Relay sítě je poskytování potřebné přenosové kapacity jednotlivým virtuálním spojením konec – konec podle jejich požadavků. Přenosová kapacita virtuálního spojení v bit/s se může interpretovat jako šířka pásma. Obecně lze realizovat přes jednu přípojku více virtuálních Frame Relay spojení. Protože zpravidla samotné aktivní FR spojení celkovou přenosovou kapacitu přípojného vedení a síťového prvku plně nevyužije, vzniká problém jak správně rozdělit síťové prostředky mezi několik aktivních spojení. Z tohoto důvodu je v síti zapotřebí řízení datového provozu na vstupu do sítě, jakož i uvnitř sítě [5].

### 5.1 Problém přetížení ve Frame Relay síti

Každá Frame Relay síť disponuje určitým množstvím síťových prostředků (paměti v uzlech, přenosová kapacita vedení), které jsou jednotlivými aktivními spojeními dynamicky využívány. Pokud některé síťové prostředky nejsou postačující, může v síti vzniknout „úzké místo“ a je možné potom mluvit o přetížení Frame Relay sítě. Čekající řada rámců ve vstupní respektive výstupní paměti (vstup/výstup-P) obecně reprezentuje seznam rámců s různými DLCI identifikátory, obrázek 18. Každý Frame Relay uzel je schopen přijmout jen omezený počet rámců, což může mít negativní vliv, jako např.:

- jestliže je vstupní paměť v síťovém uzlu plná, další přicházející rámce jsou odmítnuty,
- když se vytvoří dlouhá čekací řada rámců před přenosovým vedením, způsobí to dlouhý pobyt rámce v síti. Vzniká tím při přenosu v jednotlivých síťových uzlech velké zpoždění.

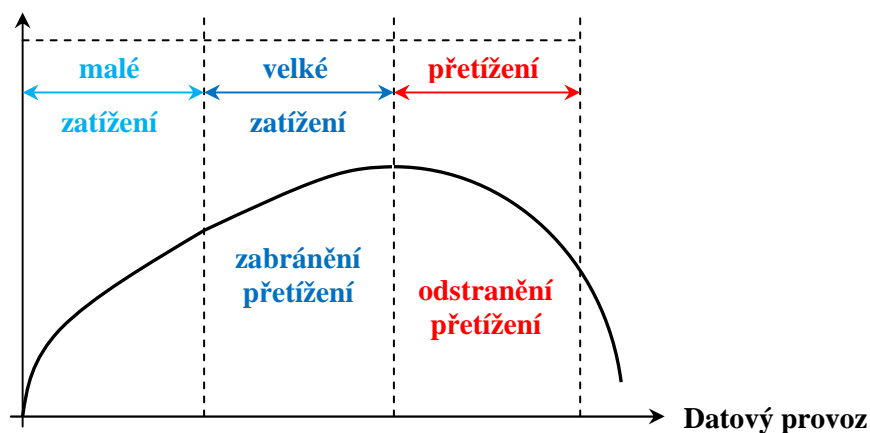


Obr. 18: Zjednodušená struktura Frame Relay – sít'ového uzlu

Z uvedených příkladů vyplývá, že je nutné v síti přijmout určitá opatření, vedoucí k zamezení negativních vlivů, které mohou způsobit přetížení sítě. Tento proces se nazývá řízení přetížení (Congestion Management). Nejdůležitější kritéria pro určení přetížení jsou:

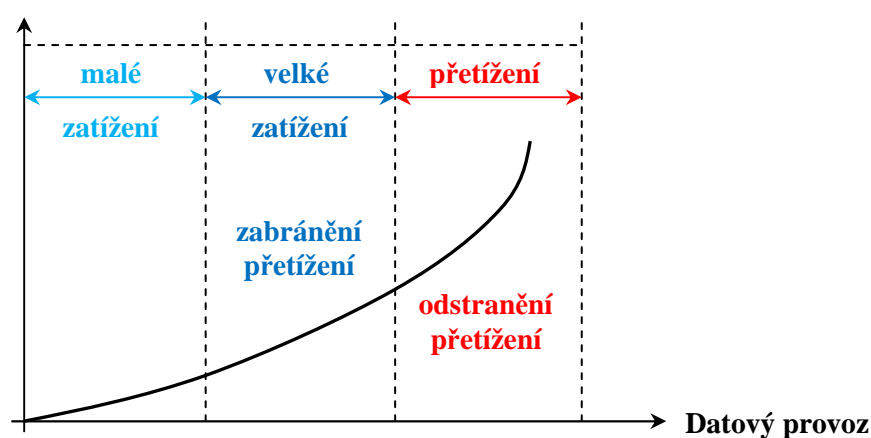
- Propustnost
- Zpoždění v síti

Pod propustností sítě se rozumí část datového provozu, která je sítí akceptována a tudíž zprostředkován přenos dat. Průběh propustnosti v závislosti na celkovém datovém provozu je na obrázku 19. Když je datový provoz v síti malý (malé zatížení), potom všechny přijaté rámce procházejí sítí a nemusí být v síti přijímána žádná opatření proti přetížení. Aby síť předešla stavu přetížení, musejí být při velkém síťovém zatížení přijata určitá opatření. Tato opatření vedou hlavně k omezení množství dat, která se do sítě vysílají [5].



Obr. 19: Vliv přetížení sítě na propustnost sítě

Pokud je v síti datový provoz tak velký, že se síť chová jako přetížená, musí být přijata jiná opatření, kterými se přetížení sítě odstraní. Jak je vidět z příslušné závislosti propustnost klesá s nárůstem objemu provozu. V takovémto případě jsou přenášené rámce sítě odmítnuty z důvodu přetížení. Tyto rámce jsou však na základě kontroly konec – konec opakovány, což vede většímu přetížení sítě. Obrázek 20 znázorňuje vliv přetížení na dobu pobytu rámce v síti. Nejdůležitější opatření pro vyhnutí se přetížení sítě spočívá hlavně v omezeném toku dat, které vstupují do sítě.



Obr. 20: Vliv přetížení sítě na zpoždění v síti

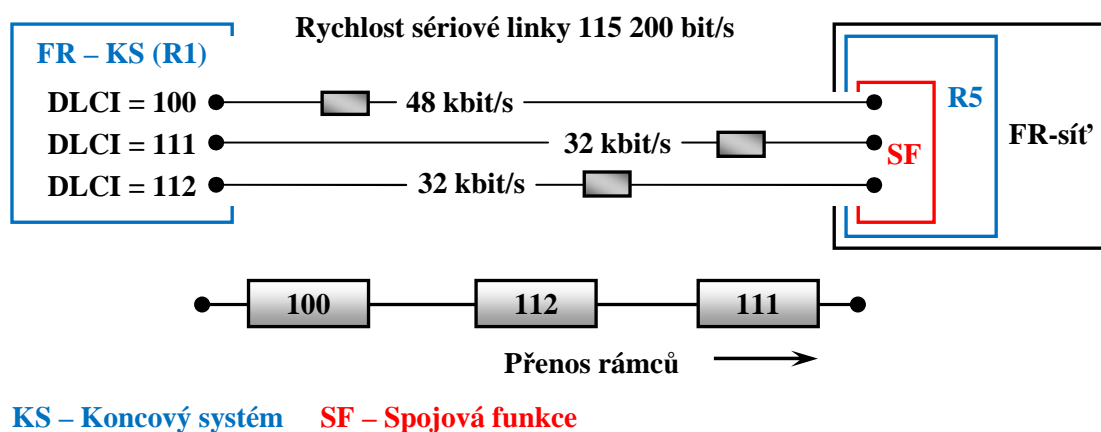
## 5.2 Řízení provozu na vstupu sítě

Všechna opatření pro zamezení přetížení sítě jsou orientována na vstup sítě. Hlavní úlohou řízení provozu na vstupu sítě je řízení vstupních objemů dat tak, aby existující síťové prostředky byly podle možnosti správně rozděleny mezi aktivní spojení. Každé Frame Relay spojení potřebuje určité síťové prostředky. Aby potřeba síťových prostředků byla pro jednotlivé Frame Relay spojení určitým způsobem regulována, jsou k Frame Relay spojeníům přiřazeny určité parametry [5].

Mezi parametry datového okruhu, které lze sjednat mezi zákazníkem a poskytovatelem služeb sítě Frame Relay patří přenosová rychlost, která se označuje jako CIR (Committed Information Rate). Dále pak maximální objem dat Bc (Committed Burst Size), který může být poslán do sítě. Tento objem dat nabídnutý síti k přenosu je měřen v intervalu, který je označován jako Tc (Committed Rate Measurement Interval). Další parametr udává, o kolik může koncové zařízení překročit Bc a je označován jako Be (Excess Burst Size).

### 5.2.1 Přenosová rychlost CIR

Tato garantovaná přenosová rychlost CIR, která nezávisí na přenosové rychlosti přípojného vedení je nejdůležitějším parametrem každého pevného spojení. Její hodnota udává rychlost vysílaných dat, při které síť za normálních podmínek garantuje doručení vyslaných dat. Nastavení přenosové rychlosti CIR pro jednotlivé navržené virtuální okruhy se může pohybovat od 0 kbit/s po přenosovou rychlost 128 kbit/s sériové linky (fyzické přípojně vedení) na daném rozhraní. Jak je vidět z obrázku 21 jsou rámce všech aktivních Frame Relay spojení sériově přenášeny fyzickým přípojným vedením vždy s přenosovou rychlostí tohoto vedení. Pro příklad je uvedeno nastavení rychlostí virtuálních okruhů zakončených na pod-rozhraních směrovače R1.



Obr. 21: Příklad nastavení CIR na FR směrovači R1

CIR hodnota je přiřazena ke každé DLCI hodnotě a tím také k příslušnému Frame Relay spojení. Součet CIR hodnot všech Frame Relay spojení, která jsou vytvořena přes jedno přípojně vedení, může překročit přenosovou rychlost přípojně vedení. Tím je umožněno na jedné straně dosáhnout lepšího využití přípojně vedení, ale na druhé straně dochází k přeplnění paměti vysílanými rámci před tím, než vstoupí na vedení. Dlouhé čekací řady způsobují, že některé rámce musí dlouho čekat na vstup do vedení, čímž se značně zvětšuje doba přenosu dat síť mezi dvěma koncovými stanicemi. Ve zvláštních případech může být pro některé Frame Relay spojení CIR = 0 kbit/s (Zero – CIR), takže síť negarantuje žádnou datovou přenosovou rychlost [5].

### 5.2.2 Konfigurace provozu pro Frame Relay zařízení

Použitím příkazu **traffic shaping** (tvarování provozu) na rozhraní FR přepínačů a směrovačů dojde k zapnutí funkce traffic shaping a na virtuálních okruzích je spuštěna funkce řazení do front. Dále tento princip umožňuje směrovačům řídit výstupní rychlost FR spojení a reagovat na informaci o přetížení pokud je nakonfigurováno [21]. Níže je uveden příklad zapnutí funkce na rozhraní směrovače R1.

```
R1(config)#interface serial 0/1/0  
R1(config-if)#frame-relay traffic shaping
```

Konfigurací traffic shaping v prostředí sítě Frame Relay se skládá ze dvou kroků. Nejdříve vytvoříme jakousi formu, podle které má být daný provoz tvarován a následně ji přiřadíme k DLCI označující zakončení virtuálního okruhu, na kterém se má uplatnit. Ona tzv. „forma“ je v prostředí CLI Cisco prvků označována jako **map-class** a v rámci ní se definují omezující podmínky na síťový provoz [19]. Pro každý virtuální okruh bude vytvořena class-mapa na obou koncích spojení. Jelikož je ve Frame Relay síti vytvořeno šest FR spojení, bude vytvořeno dvanáct forem class-map, které budou označeny VC1 až VC6. Níže je uveden příklad aplikace class-mapy pro virtuální okruh VC5, kde bude nastaven parametr **CIR** v bit/s. Definováním parametru **min CIR** nastavíme hodnotu, pod kterou tok nebude omezen. Zbývající parametry pro řízení provozu budou aplikovány do class-mapy později. Kompletní podoby class-map na pod-rozhraních jsou uvedeny v příloze I.

- Definice class-mapy:

```
R1(config)#map-class frame-relay VC5  
R1(config-map-class)#frame-relay cir 32000  
R1(config-map-class)#frame-relay mincir 16000
```

- Aplikace class-mapy pro VC5:

```
R1(config)#interface serial 0/1/0.112 point-to-point  
R1(config-subif)#frame-relay interface-dlci 112  
R1(config-fr-dlci)#class VC5  
R3(config)#interface serial 0/1/0.115 point-to-point  
R3(config-subif)#frame-relay interface-dlci 115  
R3(config-fr-dlci)#class VC5
```



Všechny nastavené přenosové rychlosti CIR na virtuálních okruzích VC1 až VC6 lze ověřit prostřednictvím testeru ParaScope GigE. Na hlavní a pomocný port testeru se připojí dvě koncové stanice, mezi kterými proběhne ověření nastaveného parametru CIR. Nejprve je nutno nastavení IP adres na hlavním a pomocném portu dle tabulky 2. Pro ověření je nutno na testeru spustit generování provozu. Nastavené a ověřené rychlosti jsou uvedeny v tabulce 3.

Virtuální okruh	Nastavený CIR [kbit/s]	Ověřený CIR [Mbit/s]
VC1	48	0,05
VC2	16	0,02
VC3	24	0,03
VC4	32	0,04
VC5	32	0,03
VC6	64	0,07

Tabulka 3: Přenosová rychlost CIR

Jelikož tester zobrazuje hodnoty přenosových rychlostí pouze v Mbit/s, přičemž sériová linka (dle použitého modulu) umožňuje maximálně komunikaci 128 kbit/s, jsou změřené hodnoty informativního charakteru pro ověření nastavených přenosových rychlostí CIR v kbit/s na virtuálních okruzích.

### 5.2.3 Datové množství Bc a Be

Skutečné množství dat, které se přenáší přes Frame Relay spojení závisí na aktuálním zatížení sítě. Mimo parametr CIR jsou pro každé Frame Relay okruhy definovány další dva parametry:

- Datové množství Bc s garantovaným přenosem, v případě, že síť není přetížena.
- Datové množství Be bez garance přenosu.

Pomocí parametru Bc je definováno datové množství Frame Relay spojení, jehož přenos a spojování za normálních provozních podmínek sítě v určitém intervalu Tc garantuje.

Parametr  $B_e$  definuje množství dat, která mohou být přenesena s množstvím dat  $B_c$  v časovém intervalu  $T_c$ . Data z množiny  $B_e$  jsou ve vstupním uzlu sítě označena pomocí bitu  $DE = 1$  (označuje takový rámec, který by měl být při přetížení vyřazen). Nevzniká tedy pro data množiny  $B_e$  ze strany sítě garance na jejich přenos. Když překročí množství dat Frame Relay spojení, ještě před ukončením intervalu  $T_c$  hodnotu  $B_c + B_e$ , potom jsou další přicházející data před ukončením časového intervalu  $T_c$  ve vstupním síťovém uzlu odmítnuta [5]. Příklad nastavení  $B_c$  a  $B_e$  je uveden pro virtuální okruh VC5.

```
R1(config)#map-class frame-relay VC5
R1(config-map-class)#frame-relay bc 32000
R1(config-map-class)#frame-relay be 0
R3(config)#map-class frame-relay VC5
```

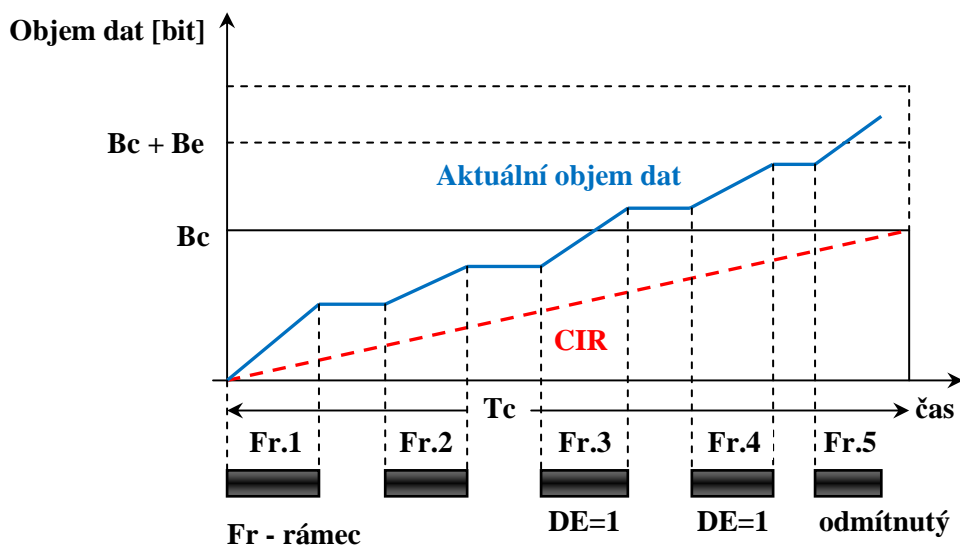
Délka časového intervalu  $T_c$  závisí na parametrech CIR a  $B_c$ . V případě, kdy  $CIR > 0$  se určí časový interval podle vztahu:

$$T_c = \frac{B_c}{CIR} \text{ [s; bit, bit}\cdot\text{s}^{-1}] \quad (1)$$

V případě, že  $CIR = 0$ ,  $T_c$  je nastaveno provozovatelem sítě. Když začíná koncový systém vysílat data na virtuální Frame Relay okruhy, ve vstupním síťovém uzlu se spustí  $T_c$  a začnou se přenášet data přes Frame Relay spojení (tj. množství dat v rámcích s určitou a jednou DLCI hodnotou). Časový interval  $T_c$  se periodicky neopakuje, ale je nastartován až tehdy, když se znovu začnou vysílat data na tomto Frame Relay spojení.

#### 5.2.4 Závislost parametrů CIR, $B_c$ , $B_e$ a $T_c$

Vzájemné závislosti parametrů CIR,  $B_c$ ,  $B_e$  a  $T_c$  jsou při řízení množství dat do Frame Relay spojení na vstupu do sítě znázorněna na obrázku 22. V tomto příkladu jsou rámce 1 a 2 přijaty vstupním síťovým uzlem a jsou sítí přeneseny transparentně. Při vstupu rámce 3 je překročena hodnota  $B_c$  aktuálně přenášeného množství dat s tím, že přenos rámce 3 nemůže být sítí garantován. Rámec 3 je na vstupu do sítě označen s  $DE = 1$  a může být sítí při přetížení sítě odmítnutý. Při vstupu rámce 4 nepřekračuje přenášené množství dat ještě dovolené množství dat  $B_c + B_e$  a proto byl rámec 4 vstupním síťovým uzlem přijatý. Je též označen s  $DE = 1$ . Přijetím rámce 5 se překročí dovolené množství dat  $B_c + B_e$  a z tohoto důvodu je rámec 5 vstupním uzlem odmítnutý [5].



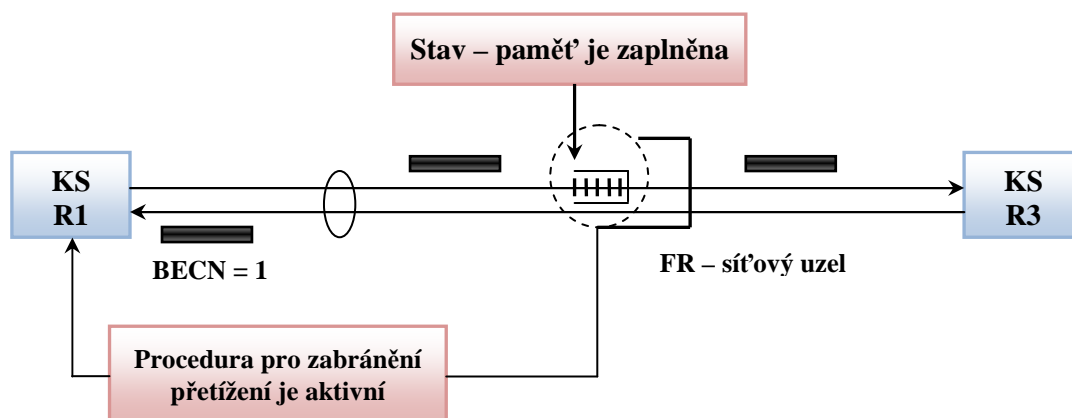
Obr. 22: Dohled na objem dat FR spojení na vstupu sítě

### 5.3 Signalizace stavů přetížení

Ve Frame Relay síti je možnost signalizovat koncovému systému momentální stav přetížení. K tomu jsou použity bity BECN a FECN nacházející se v řídícím poli rámce. Bity BECN a FECN generuje sama síť na základě detekování vnitřního zahlcení, protože nemá možnost rámce po cestě ukládat do nějakých vyrovnávacích pamětí a pouze informuje koncové uzly. Jakmile vysílající koncové zařízení dostane rámec s indikací bitu BECN nebo FECN, mělo by zmenšit velikost parametru CIR, aby se omezilo zahlcení v síti.

#### 5.3.1 Bit BECN

Zpětné oznámení o přetížení (BECN – Backward Explicit Congestion Notificaton) je oznámení sítě odesílateli o přetížení sítě a o vyvolání opatření proti zahlcení. Jestliže je v přijatém rámci  $BECN = 1$ , znamená to upozornění například koncovému systému R1 (zdrojového), že na Frame Relay spojení v opačném směru vznikl stav přetížení. To znamená, že v jednom síťovém uzlu, přes který Frame Relay spojení prochází, byla aktivována procedura pro zabránění přetížení. Zdrojové zařízení by mělo snížit přenosovou rychlost CIR [5]. Princip signalizace stavu přetížení pomocí BECN bitu je pro příklad znázorněno mezi R1 a R3 na obrázku 23.



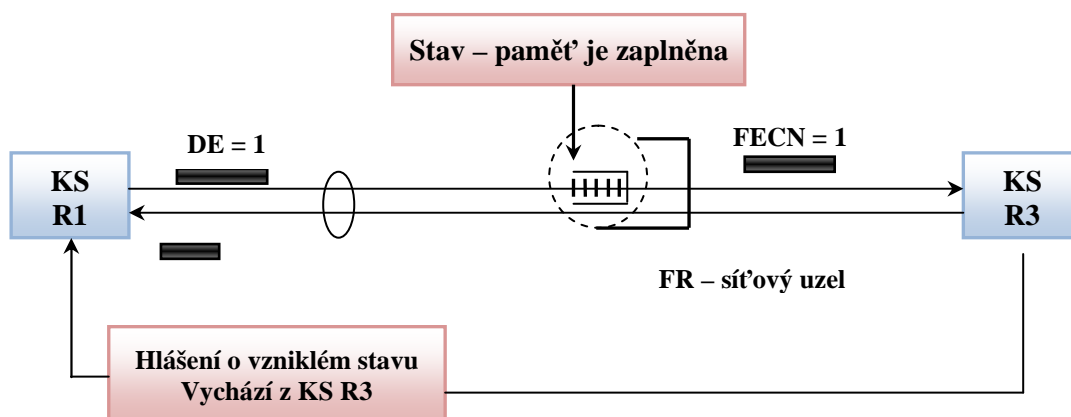
Obr. 23: Zpětná signalizace přetížení pomocí BECN bitu

V případě, kdy v časovém intervalu  $T_c$  vysílané množství dat již překročilo hodnotu  $B_c$ , jsou další vysílané rámce odmítnuty. Koncový systém R1 potom musí snížit množství dat vysílaných do sítě. Použitím příkazu **adaptive-shaping becn** je povolena na pod-rozhraní směrovače R1 zpětnovazební signalizace BECN, kdy dojde k přizpůsobení provozu na virtuálním okruhu VC5 ve směru přenosu dat od PC1 do PC3 [21, 23]. Pro použití signalizace BECN v opačném směru je nutno implementovat tento příkaz do class-mapu VC5 na směrovači R3, kde je zakončen virtuální okruh VC5

```
R1(config)#map-class frame-relay VC5
R1(config-map-class)#frame-relay adaptive-shaping becn
```

### 5.3.2 Bit FECN

Stav přetížení v síti může být signalizován i cílovému koncovému systému a používá se k tomu bit FECN (Forward Explicit Congestion Notification). Když cílový koncový systém přijímá rámce s  $FECN = 1$  znamená to, že v síťovém uzlu, přes který prochází příslušné Frame Relay spojení, došlo k jeho přetížení. FECN bitem je cílovému koncovému systému R3 dán příkaz, aby tuto skutečnost oznámil koncovému systému R1. Jak je vidět (např. pomocí vyšších komunikačních protokolů koncových systémů) je to nezávislé na Frame Relay síti [5]. Princip signalizace pomocí FECN je znázorněn na obrázku 24.



Obr. 24: Dopředná signalizace přetížení pomocí FECN bitu

Příkaz **frame-relay fecn-adapt** povolí signalizaci FECN pro přizpůsobení provozu na virtuálním okruhu VC5 zakončeném na pod-rozhraní směrovače R3 ve směru přenosu dat R1 do R3 [23]. Pro možnost dopředné signalizace FECN v opačném směru přenosu je třeba na směrovači R1 vložit do class-mapy VC5 uvedený příkaz.

```
R3(config)#map-class frame-relay VC5
R3(config-map-class)#frame-relay fecn-adapt
```

Když přetížení sítě stoupá dále i přes signalizování pomocí BECN a FECN bitu, jsou nejdříve odmítnuty rámce s bitem DE = 1. Pokud i nadále přetížení stoupá, nemůže již být garantována datová přenosová rychlost CIR a v důsledku toho jsou odmítány rámce i s bitem DE = 0, jejichž přenos je za normálních okolností garantován.

### 5.3.3 Řízení přetížení na FR přepínačích

Řízení přetížení (congestion management) Frame Relay sítě plní funkci řízení zatížení provozu na virtuálních okruzích. Tato funkce je nastavena na rozhraních FR přepínačů R5 až R8. Nastavení přetížení je formou class-mapy, ve které je použit příkaz **congestion threshold ecn** [21, 23]. Za tímto příkazem je nutno uvést procento zaplnění fronty pakety, která je standardně nastavena na hodnotu 40. Při dosažení stanoveného procenta zaplnění fronty pakety dojde k signalizaci zpětné nebo dopředné. To znamená, že když na rozhraní, kterým prochází virtuální okruh je překročen procentuální ECN limit, budou všechny pakety na daném virtuálním okruhu nastaveny jako FECN a BECN bity v závislosti na jejich směru přenosu.

Příklad nastavení class-mapy signalizace a její následná aktivace jsou uvedeny pro rozhraní FR přepínače R5.

- Definice class-mapy:

```
R5(config)#map-class frame-relay signalizace  
R5(config-map-class)#frame-relay congestion threshold ecn 85
```

- Aplikace class-mapy pro FR přepínač R5:

```
R5(config)#interface serial 0/1/1  
R5(config-subif)#class signalizace  
  
R5(config)#interface serial 0/1/0  
R5(config-subif)#class signalizace  
  
R5(config)#interface serial 0/2/1  
R5(config-subif)#class signalizace  
  
R5(config)#interface serial 0/2/0  
R5(config-subif)#class signalizace
```

Pokud není dosaženo přetěžovacího limitu ECN 85%, nedochází k přetížení a tím pádem nedojde k signalizaci pomocí bitů BECN a FECN. Na druhou stranu, když dojde k maximálnímu zaplnění fronty pakety, je aktivována funkce traffic shaping, kdy jsou všechny vysílané pakety odebírány. Zbývá nastavení class-map pro řízení přetížení na FR přepínačích jsou uvedeny v příloze I.

## 6 Závěr

Technologie Frame Relay je primárně určena pro propojování vzdálených LAN sítí přes rozsáhlé WAN síť. Z přepojování paketů proměnné délky na síťové vrstvě se postupně vyvinulo přepojování rámců proměnné délky na spojové vrstvě. Frame Relay je schopna přenášet velké datové objemy s relativně vysokou přenosovou rychlostí v rozlehlých sítích. Spojení koncových míst přes poskytovatele sítě je vytvořeno prostřednictvím virtuálních okruhů. Poskytuje jak větší přenosovou rychlost, tak spolehlivost a flexibilitu oproti privátním nebo vyhrazeným okruhům. Frame Relay umožňuje snížení nákladů použitím menších a méně složitých zařízení, tím dosahuje jednodušší implementace. Z těchto důvodů se stala Frame Relay nejrozšířenější WAN technologií na světě.

V současnosti je Frame Relay technologií, kdy už nedochází k jejímu dalšímu vývoji. Nachází se ve stínu novějších technologií pro datové síť například technologie MPLS, avšak je stále využívanou koncepcí pro rozlehlé oblasti, například pro kontinent jako je Severní Amerika, kde je cenově efektivním řešením pro počítačové síť podniků, které mají více poboček v lokalitách daleko od sebe a vyžadují flexibilní komunikaci mezi nimi.

Cílem této diplomové práce bylo navrhnout Frame Relay síť, použitím zvolené topologie, kterou Frame Relay technologie umožňuje a v laboratorních podmínkách navrhnoutou síť realizovat, prostřednictvím směrovačů od firmy Cisco na základě získaných poznatků pro konfiguraci Frame Relay sítě s následným provedením implementace vhodných nástrojů pro řízení provozu do vytvořené Frame Relay sítě.

Pro návrh Frame Relay sítě byla zvolena částečná vícecestná topologie (partial mesh), která je často využívána i v praxi pro rozlehlé síť především vlivem nižších nákladů oproti vícecestné topologii (full mesh). Částečná vícecestná topologie respektive tzv. „síťový mrak“ je složena ze čtyř Frame Relay přepínačů, které zastávají funkci přepínání pro vytvořené virtuální okruhy zajišťující vzájemnou konektivitu mezi čtyřmi koncovými místy. Dalším nutným krokem bylo provést podsítování (subnetting) navrhnuté sítě. Pro podsítování byl zvolen typ VLSM neboli podsítování s variabilní délkou masky. Pro vytvoření typu VLSM bylo nejprve nutné provést analýzu navrhnuté Frame Relay sítě z pohledu počtu sítí a maximálního počtu adres.

Konfigurační příkazy v této diplomové práci slouží ke konfiguraci směrovačů vyráběných společnostmi Cisco, kterými je laboratoř vybavena. Na jiných platformách se může konfigurace, vzhledem ke schopnostem daného vybavení, výrazně lišit. Ve Frame Relay síti jsou konfigurována zařízení jako Frame Relay přepínače a jako koncová přístupová zařízení (směrovače). Důležitý krok, který je nutno provést pro nastavení směrovačů a FR přepínačů je, aby se chovaly a plnily funkci v síti jako Frame Relay zařízení je povolení FR zapouzdření (encapsulace). Na Frame Relay přepínačích je třeba aktivovat přepínací proces a na každém rozhraní definovat přepínací tabulky jednotlivých virtuálních okruhů, které prochází daným rozhraním.

Nejdůležitější úlohou Frame Relay sítě je poskytování garantované přenosové kapacity jednotlivým virtuálním okruhům. Konfigurace nástrojů pro řízení provozu v prostředí sítě Frame Relay se skládá ze dvou kroků. Prvním krokem je vytvoření tzv. „formy“ (map-class), podle které má být daný provoz tvarován a následně ji přiřadit k identifikátoru DLCI, označující zakončení virtuálního okruhu, na kterém se má uplatnit. Pro koncová přístupová zařízení byla konfigurována pro formu provozu přenosová rychlost CIR, minCIR, datové množství Be s garantovaným přenosem a datové množství Be bez garance přenosu. Součástí nástrojů pro řízení provozu je signalizace stavů přetížení pomocí bitů BECN (zpětná signalizace) a FECN (dopředná signalizace) nakonfigurovaných opět pomocí map-class na rozhraních FR přepínačů.

Všechny nastavené přenosové rychlosti CIR byly ověřeny prostřednictvím testeru ParaScopeGigE, na kterém bylo nutno spustit generování provozu mezi danými koncovými stanicemi pro požadované virtuální spojení. Jelikož tester zobrazuje hodnoty přenosových rychlostí pouze v Mbit/s, přičemž sériová linka (dle použitého modulu) umožňuje maximálně komunikaci 128 kbit/s, jsou změřené hodnoty pro ověření parametru CIR pouze informativního charakteru.

Využití technologie Frame Relay v datových sítích, se zatím stále hlásí o své místo v prostředí podnikových sítí. V rámci České republiky není zrovna využívanou technologií, avšak s postupujícím časem rozrůstání podniků a firem mimo naše hranice do evropských zemí, či dokonce i mimo Evropu, bude Frame Relay vhodnou alternativou pro spojení se vzdálenými firemními lokalitami. Pro oživení technologie Frame Relay by byla možnost zádání diplomové práce pro vytvoření kompatibility Frame Relay s novějšími technologiemi pro datové sítě.



## Literatura

- [1] CHOD, Jiří, SVOBODA, Jaroslav. *Telekomunikační technika 3. díl – Telekomunikační sítě a služby*. 1. vyd. Praha: Hüthing&Beneš, 1999. ISBN 80-901936-7-6.
- [2] RYDVAL, Jan. *ATM a spol. – Datové přenosové technologie v síti Internet* [online]. 1998 [cit. 1998-10-18]. Dostupný z WWW: <<http://www.zive.sk/Spravy/ATM-a-spol---Datove-prenosove-technologie-v-siti-Internet/sc-30-a-153226/default.aspx>>.
- [3] PUŽMANOVÁ, Rita. *Nová specifikace pro Frame Relay I* [online]. 2002 [cit. 2002-06-11]. Dostupný z WWW: <<http://www.lupa.cz/clanky/nova-specifikace-pro-frame-relay-i/>>.
- [4] GRYGÁREK. *Sítě Frame Relay* [online]. Dostupný z WWW: <<http://www.cs.vsb.cz/grygarek/TPS/FrameRelay/frame.html>>.
- [5] BLUNÁR, Karol, DIVIŠ, Zdeněk. *Telekomunikační sítě díl 1*. 1. vyd. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, 2003. ISBN 80-248-0391-7.
- [6] PUŽMANOVÁ, Rita. *Nová specifikace pro Frame Relay II* [online]. 2002 [cit. 2002-06-12]. Dostupný z WWW: <<http://www.lupa.cz/clanky/nova-specifikace-pro-frame-relay-ii/>>.
- [7] CISCO SYSTEMS, INC. *Internetworking Technology Handbook – Frame Relay* [online]. 1992-2009. Dostupný z WWW: <<http://www.cisco.com/en/US/docs/internetworking/technology/handbook/Frame-Relay.html>>
- [8] PETERKA, Jiří. *Multiplexování* [online]. 1996 [cit. 1996-12-17]. Dostupný z WWW: <<http://www.earchiv.cz/verze1996/a651k150.htm>>.
- [9] PUŽMANOVÁ, Rita. *Spolehlivost služby se spojením* [online]. 2006 [cit. 2006-05-15]. Dostupný z WWW: <<http://www.svetsiti.cz/view.asp?rubrika=Technologie&clanekID=295>>.
- [10] DATA COMM FOR BUSINESS, INC. *What is Frame Relay* [online]. 1995-2009. Dostupný z WWW: <<http://www.dcbnet.com/notes/framerly.html>>.

- 
- [11] MIKULEC, Martin. *Frame Relay – Virtuální okruhy* [online]. 2009 [cit. 2009-03-28]. Dostupný z WWW: <<http://www.owebu.cz/pc-site/vypis.php?clanek=2481>>.
- [12] CISCO NETWORKING ACADEMY. *Accessing the WAN – Frame Relay* [online]. 2007. Dostupný z WWW: <<http://rcna.vsb.cz/neverejne/ccna/curriculum/e/ccna4/theme/cheetah.html?cid=1400000000&l1=en&l2=none&chapter=3>>.
- [13] WIKIPEDIE. *Frame Relay* [online]. Dostupný z WWW: <[http://cs.wikipedia.org/wiki/Frame\\_Relay](http://cs.wikipedia.org/wiki/Frame_Relay)>.
- [14] *WAN a Frame Relay* [online]. Dostupný z WWW: <[www.comtel.cz/files/download.php?id=2680](http://www.comtel.cz/files/download.php?id=2680)>.
- [15] *Bezpečnost v sítích Frame Relay* [online]. 2000 [cit. 2000-01-01]. Dostupný z WWW: <<http://www.zive.cz/Clanky/Bezpecnost-v-sitich-Frame-Relay/sc-3-a-9629/default.aspx>>.
- [16] *Cisco 2800 Series Integrated Services Routers* [online]. 1992-2008. Dostupný z WWW: <[http://www.cisco.com/en/US/products/ps5854/prod\\_view\\_selector.html](http://www.cisco.com/en/US/products/ps5854/prod_view_selector.html)>.
- [17] *Adresace IPv4, VLSM, CIDR* [online]. Dostupný z WWW: <[www.comtel.cz/files/download.php?id=4160](http://www.comtel.cz/files/download.php?id=4160)>.
- [18] CISCO NETWORKING ACADEMY. *Routing Protocols and Concepts – Introduction to Routing and Packet Forwarding* [online]. 2007. Dostupný z WWW: <<http://rcna.vsb.cz/neverejne/ccna/curriculum/exploration/ccna2/theme/cheetah.html?c1lang=en&c1id=en09000000000&c2lang=&c2id=&chapter=1>>.
- [19] *Frame Relay – základní konfigurace* [online]. Dostupný z WWW: URL: <[http://wh.cs.vsb.cz/mil051/index.php/Frame\\_Relay\\_-\\_základní\\_konfigurace](http://wh.cs.vsb.cz/mil051/index.php/Frame_Relay_-_základní_konfigurace)>.
- [20] *Směrovací protokol RIP (Routing Information Protocol)* [online]. Dostupný z WWW: <[http://wh.cs.vsb.cz/mil051/index.php/Směrovací\\_protokol\\_RIP\\_\(Routing\\_Information\\_Protocol\)](http://wh.cs.vsb.cz/mil051/index.php/Směrovací_protokol_RIP_(Routing_Information_Protocol))>.
- [21] CISCO SYSTEMS, INC. *Configuring Frame Relay* [online]. 1992-2008. Dostupný z WWW: <[http://www.cisco.com/en/US/docs/ios/12\\_2/wan/configuration/guide/wcffrely.html](http://www.cisco.com/en/US/docs/ios/12_2/wan/configuration/guide/wcffrely.html)>.

- 
- [22] *Frame Relay* [online]. Dostupný z WWW:  
<<http://netcert.tripod.com/ccna/wan/frelay.html>>.
- [23] *Frame Relay Switching and Policing Lab* [online]. 2008 [cit. 2008-11-15]. Dostupný z WWW: <<http://cciethebeginning.wordpress.com/2008/11/15/frame-relay-switching-and-policing-lab-2/>>.

## Seznam příloh

Příloha č.

- I.      Nastavení směrovačů R1 až R4 a FR přepínačů R5 až R8.
- II.     Záznamy přepínacích tabulek pro FR přepínače
- III.    Dynamické směrování mezi DLCI a pod-rozhraním provedené pomocí IARP

Pro zobrazení nastavení FR zařízení R1 až R8 byl použit v privilegovaném EXEC módu příkaz **show running config**.

**Směrovač R1:**

```
R1#show running config
Building configuration...

Current configuration : 2315 bytes
!
version 12.3
service timestamps debug datetime msec
service timestamps log datetime msec
no service password-encryption
!
hostname R1
!
boot-start-marker
boot system flash:c2801-adventerprisek9-mz.123-14.YT1.bin
boot-end-marker
!
enable secret 5 $1$ocJ5$VfhJDplex8cw1xIwOCC8W1
!
no aaa new-model
!
resource policy
!
mmi polling-interval 60
no mmi auto-configure
no mmi pvc
mmi snmp-timeout 180
ip subnet-zero
ip cef
!
no ip dhcp use vrf connected
!
no ip ips deny-action ips-interface
!
interface FastEthernet0/0
  description R1 pripojeno k PC1
  ip address 192.168.0.26 255.255.255.252
  duplex auto
  speed auto
!
interface Serial0/1/0
  description R1 pripojeno k R5
  no ip address
  encapsulation frame-relay
  no fair-queue
  frame-relay traffic-shaping
!
```

```
!  
interface Serial0/1/0.100 point-to-point  
  description virtualni okruh 1  
  ip address 192.168.0.1 255.255.255.252  
  frame-relay interface-dlci 100  
  class VC1  
!  
interface Serial0/1/0.111 point-to-point  
  description virtualni okruh 4  
  ip address 192.168.0.14 255.255.255.252  
  frame-relay interface-dlci 111  
  class VC4  
!  
interface Serial0/1/0.112 point-to-point  
  description virtualni okruh 5  
  ip address 192.168.0.17 255.255.255.252  
  frame-relay interface-dlci 112  
  class VC5  
!  
router rip  
  version 2  
  network 192.168.0.0  
!  
ip classless  
!  
ip http server  
no ip http secure-server  
!  
map-class frame-relay VC5  
  frame-relay cir 32000  
  frame-relay bc 32000  
  frame-relay be 0  
  frame-relay mincir 16000  
  frame-relay adaptive-shaping becn  
!  
map-class frame-relay VC1  
  frame-relay cir 48000  
  frame-relay bc 48000  
  frame-relay be 0  
  frame-relay mincir 24000  
  frame-relay adaptive-shaping becn  
!  
map-class frame-relay VC4  
  frame-relay cir 32000  
  frame-relay bc 32000  
  frame-relay be 0  
  frame-relay mincir 16000  
  frame-relay fecn-adapt  
!  
control-plane  
!  
banner motd ^C Neopraveny vstup zakazan!!! ^C  
!
```

```
line con 0
  password router1
  logging synchronous
  login
line aux 0
line vty 0 4
  password router1
  login
!
scheduler allocate 20000 1000
end
```

### Směrovač R2:

```
R2#show running config
Building configuration...

Current configuration : 2207 bytes
!
version 12.3
service timestamps debug datetime msec
service timestamps log datetime msec
no service password-encryption
!
hostname R2
!
boot-start-marker
boot system flash:c2801-adventerprisek9-mz.123-14.YT1.bin
boot-end-marker
!
enable secret 5 $1$Czeq$S$CmY6uzjXCzcIzCb8OBKg0
!
no aaa new-model
!
resource policy
!
mmi polling-interval 60
no mmi auto-configure
no mmi pvc
mmi snmp-timeout 180
ip subnet-zero
ip cef
!
no ip dhcp use vrf connected
!
no ip ips deny-action ips-interface
!
interface FastEthernet0/0
  description R2 pripojeno k PC2
  ip address 192.168.0.30 255.255.255.252
  duplex auto
  speed auto
!
```

```
interface Serial0/1/0
  description R2 pripojeno k R7
  no ip address
  encapsulation frame-relay
  no fair-queue
  frame-relay traffic-shaping
!
interface Serial0/1/0.103 point-to-point
  description virtualni okruh 1
  ip address 192.168.0.2 255.255.255.252
  frame-relay interface-dlci 103
  class VC1
!
interface Serial0/1/0.104 point-to-point
  description virtualni okruh 2
  ip address 192.168.0.5 255.255.255.252
  frame-relay interface-dlci 104
  class VC2
!
interface Serial0/1/0.116 point-to-point
  description virtualni okruh 6
  ip address 192.168.0.21 255.255.255.252
  frame-relay interface-dlci 116
  class VC6
!
router rip
  version 2
  network 192.168.0.0
!
ip classless
!
ip http server
no ip http secure-server
!
map-class frame-relay VC1
  frame-relay cir 48000
  frame-relay bc 48000
  frame-relay be 0
  frame-relay mincir 24000
  frame-relay fecn-adapt
!
map-class frame-relay VC2
  frame-relay cir 16000
  frame-relay bc 16000
  frame-relay be 0
  frame-relay mincir 8000
  frame-relay adaptive-shaping becn
!
map-class frame-relay VC6
  frame-relay cir 64000
  frame-relay bc 64000
  frame-relay be 0
  frame-relay mincir 32000
  frame-relay adaptive-shaping becn
```



```
!  
control-plane  
!  
banner motd ^C Neopraveny vstup zakazan!!! ^C  
!  
line con 0  
  password router2  
  logging synchronous  
  login  
line aux 0  
line vty 0 4  
  password router2  
  login  
!  
scheduler allocate 20000 1000  
end
```

### Směrovač R3:

```
R3#show running config  
Building configuration...  
  
Current configuration : 2196 bytes  
!  
version 12.3  
service timestamps debug datetime msec  
service timestamps log datetime msec  
no service password-encryption  
!  
hostname R3  
!  
boot-start-marker  
boot system flash:c2801-adventerprisek9-mz.123-14.YT1.bin  
boot-end-marker  
!  
enable secret 5 $1$UeRq$QMWFei1T1hzik3UwJNiG/  
!  
no aaa new-model  
!  
resource policy  
!  
mmi polling-interval 60  
no mmi auto-configure  
no mmi pvc  
mmi snmp-timeout 180  
ip subnet-zero  
ip cef  
!  
no ip dhcp use vrf connected  
!  
no ip ips deny-action ips-interface  
!
```

```
interface FastEthernet0/0
  description R3 pripojeno k PC3
  ip address 192.168.0.34 255.255.255.252
  duplex auto
  speed auto
!
interface Serial0/1/0
  description R3 pripojeno k R7
  no ip address
  encapsulation frame-relay
  no fair-queue
  frame-relay traffic-shaping
!
interface Serial0/1/0.105 point-to-point
  description virtualni okruh 2
  ip address 192.168.0.6 255.255.255.252
  frame-relay interface-dlci 105
  class VC2
!
interface Serial0/1/0.106 point-to-point
  description virtualni okruh 3
  ip address 192.168.0.9 255.255.255.252
  frame-relay interface-dlci 106
  class VC3
!
interface Serial0/1/0.115 point-to-point
  description virtualni okruh 5
  ip address 192.168.0.18 255.255.255.252
  frame-relay interface-dlci 115
  class VC5
!
router rip
  version 2
  network 192.168.0.0
!
ip classless
!
ip http server
no ip http secure-server
!
map-class frame-relay VC5
  frame-relay cir 32000
  frame-relay bc 32000
  frame-relay be 0
  frame-relay mincir 16000
  frame-relay fecn-adapt
!
map-class frame-relay VC2
  frame-relay cir 16000
  frame-relay bc 16000
  frame-relay be 0
  frame-relay mincir 8000
  frame-relay fecn-adapt
```

```
!  
map-class frame-relay VC3  
  frame-relay cir 24000  
  frame-relay bc 24000  
  frame-relay be 0  
  frame-relay mincir 12000  
  frame-relay adaptive-shaping becn  
!  
control-plane  
!  
banner motd ^C Neopraveny vstup zakazan!!! ^C  
!  
line con 0  
  password router3  
  logging synchronous  
  login  
line aux 0  
line vty 0 4  
  password router3  
  login  
!  
scheduler allocate 20000 1000  
end
```

#### Směrovač R4:

```
R4#show running config  
Building configuration...  
  
Current configuration : 2199 bytes  
!  
version 12.3  
service timestamps debug datetime msec  
service timestamps log datetime msec  
no service password-encryption  
!  
hostname R4  
!  
boot-start-marker  
boot system flash:c2801-adventerprisek9-mz.123-14.YT1.bin  
boot-end-marker  
!  
enable secret 5 $1$IHtU$s6nXudF/.JYLZ0tmykaoU1  
!  
no aaa new-model  
!  
resource policy  
!  
mmi polling-interval 60  
no mmi auto-configure  
no mmi pvc  
mmi snmp-timeout 180  
ip subnet-zero  
ip cef
```

```
!  
no ip dhcp use vrf connected  
!  
no ip ips deny-action ips-interface  
!  
interface FastEthernet0/0  
  description R4 pripojeno k PC4  
  ip address 192.168.0.38 255.255.255.252  
  duplex auto  
  speed auto  
!  
interface Serial0/1/0  
  description R4 pripojeno k R5  
  no ip address  
  encapsulation frame-relay  
  no fair-queue  
  frame-relay traffic-shaping  
!  
interface Serial0/1/0.109 point-to-point  
  description virtualni okruh 3  
  ip address 192.168.0.10 255.255.255.252  
  frame-relay interface-dlci 109  
  class VC3  
!  
interface Serial0/1/0.110 point-to-point  
  description virtualni okruh 4  
  ip address 192.168.0.13 255.255.255.252  
  frame-relay interface-dlci 110  
  class VC4  
!  
interface Serial0/1/0.119 point-to-point  
  description virtualni okruh 6  
  ip address 192.168.0.22 255.255.255.252  
  frame-relay interface-dlci 119  
  class VC6  
!  
router rip  
  version 2  
  network 192.168.0.0  
!  
ip classless  
!  
ip http server  
no ip http secure-server  
!  
map-class frame-relay VC3  
  frame-relay cir 24000  
  frame-relay bc 24000  
  frame-relay be 0  
  frame-relay mincir 12000  
  frame-relay fecn-adapt  
!
```

```

map-class frame-relay VC4
  frame-relay cir 32000
  frame-relay bc 32000
  frame-relay be 0
  frame-relay mincir 16000
  frame-relay adaptive-shaping becn
!
map-class frame-relay VC6
  frame-relay cir 64000
  frame-relay bc 64000
  frame-relay be 0
  frame-relay mincir 32000
  frame-relay fecn-adapt
!
control-plane
!
banner motd ^C Neopraveny vstup zakazan!!! ^C
!
line con 0
  password router4
  logging synchronous
  login
line aux 0
line vty 0 4
  password router4
  login
!
scheduler allocate 20000 1000
end

```

### FR přepínač R5:

```

R5#show running config
Building configuration...

Current configuration : 2220 bytes
!
version 12.4
service timestamps debug datetime msec
service timestamps log datetime msec
no service password-encryption
!
hostname R5
!
boot-start-marker
boot system flash c2801-adventerprisek9-mz.n
boot system flash
boot system flash:/c2801-adventerprisek9-mz.n
boot-end-marker
!
enable secret 5 $1$sPW1$rLsg99pLyiuxezREQVdVQ1
!
no aaa new-model
!

```

```
resource policy
!
no ip routing
no ip cef
!
frame-relay switching
!
interface Serial0/1/0
  description R5 pripojeno k R6
  no ip address
  encapsulation frame-relay
  no ip route-cache
  no fair-queue
  frame-relay class signalizace
  frame-relay traffic-shaping
  frame-relay route 101 interface Serial0/1/1 100
  frame-relay route 118 interface Serial0/2/1 119
!
interface Serial0/1/1
  description R5 pripojeno k R1
  no ip address
  encapsulation frame-relay
  no ip route-cache
  no fair-queue
  clock rate 115200
  frame-relay class signalizace
  frame-relay traffic-shaping
  frame-relay intf-type dce
  frame-relay route 100 interface Serial0/1/0 101
  frame-relay route 111 interface Serial0/2/1 110
  frame-relay route 112 interface Serial0/2/0 113
!
interface Serial0/2/0
  description R5 pripojeno k R8
  no ip address
  encapsulation frame-relay
  no ip route-cache
  no fair-queue
  frame-relay class signalizace
  frame-relay traffic-shaping
  frame-relay route 108 interface Serial0/2/1 109
  frame-relay route 113 interface Serial0/1/1 112
!
interface Serial0/2/1
  description R5 pripojeno k R4
  no ip address
  encapsulation frame-relay
  no ip route-cache
  no fair-queue
  clock rate 125000
  frame-relay class signalizace
  frame-relay traffic-shaping
  frame-relay intf-type dce
  frame-relay route 109 interface Serial0/2/0 108
```

```
frame-relay route 110 interface Serial0/1/1 111
frame-relay route 119 interface Serial0/1/0 118
!
ip http server
no ip http secure-server
!
map-class frame-relay signalizace
  frame-relay congestion threshold ecn 85
!
control-plane
!
banner motd ^C Neopravneny vstup zakazan!!! ^C
!
line con 0
  password router5
  logging synchronous
  login
line aux 0
line vty 0 4
  password router5
  login
!
scheduler allocate 20000 1000
end
```

### FR přepínač R6:

```
R6#show running config
Building configuration...

Current configuration : 1574 bytes
!
version 12.3
service timestamps debug datetime msec
service timestamps log datetime msec
no service password-encryption
!
hostname R6
!
boot-start-marker
boot system flash:c2801-adventerprisek9-mz.123-14.YT1.bin
boot-end-marker
!
enable secret 5 $1$4BjT$zL3mZMxua3S4MyK4ZIt7g/
!
no aaa new-model
!
resource policy
!
mmi polling-interval 60
no mmi auto-configure
no mmi pvc
mmi snmp-timeout 180
ip subnet-zero
```

```
no ip routing
no ip cef
!
no ip dhcp use vrf connected
!
no ip ips deny-action ips-interface
!
frame-relay switching
!
interface Serial0/1/0
  description R6 pripojeno k R5
  no ip address
  encapsulation frame-relay
  no ip route-cache
  no fair-queue
  clock rate 115200
  frame-relay class signalizace
  frame-relay traffic-shaping
  frame-relay intf-type dce
  frame-relay route 101 interface Serial0/1/1 102
  frame-relay route 118 interface Serial0/1/1 117
!
interface Serial0/1/1
  description R6 pripojeno k R7
  no ip address
  encapsulation frame-relay
  no ip route-cache
  no fair-queue
  clock rate 115200
  frame-relay class signalizace
  frame-relay traffic-shaping
  frame-relay intf-type dce
  frame-relay route 102 interface Serial0/1/0 101
  frame-relay route 117 interface Serial0/1/0 118
!
ip classless
!
ip http server
no ip http secure-server
!
map-class frame-relay signalizace
  frame-relay congestion threshold ecn 85
!
control-plane
!
banner motd ^C Neopravneny vstup zakazan!!! ^C
!
line con 0
  password router6
  logging synchronous
  login
line aux 0
line vty 0 4
  password router6
```



```
login
!  
scheduler allocate 20000 1000  
end
```

### FR přepínač R7:

```
R7#show running config  
Building configuration...  
  
Current configuration : 2257 bytes  
!  
version 12.3  
service timestamps debug datetime msec  
service timestamps log datetime msec  
no service password-encryption  
!  
hostname R7  
!  
boot-start-marker  
boot system flash:c2801-adventerprisek9-mz.123-14.YT1.bin  
boot-end-marker  
!  
enable secret 5 $1$w/vG$QQuTirombV0Nrznf4YmMp0  
!  
no aaa new-model  
!  
resource policy  
!  
mmi polling-interval 60  
no mmi auto-configure  
no mmi pvc  
mmi snmp-timeout 180  
ip subnet-zero  
no ip routing  
no ip cef  
!  
no ip dhcp use vrf connected  
!  
no ip ips deny-action ips-interface  
!  
frame-relay switching  
!  
interface Serial0/1/0  
description R7 pripojeno k R2  
no ip address  
encapsulation frame-relay  
no ip route-cache  
no fair-queue  
clock rate 128000  
frame-relay class signalizace  
frame-relay traffic-shaping  
frame-relay intf-type dce  
frame-relay route 103 interface Serial0/1/1 102
```

```
frame-relay route 104 interface Serial0/2/0 105
frame-relay route 116 interface Serial0/1/1 117
!
interface Serial0/1/1
description R7 pripojeno k R6
no ip address
encapsulation frame-relay
no ip route-cache
no fair-queue
frame-relay class signalizace
frame-relay traffic-shaping
frame-relay route 102 interface Serial0/1/0 103
frame-relay route 117 interface Serial0/1/0 116
!
interface Serial0/2/0
description R7 pripojeno k R3
no ip address
encapsulation frame-relay
no ip route-cache
no fair-queue
clock rate 72000
frame-relay class signalizace
frame-relay traffic-shaping
frame-relay intf-type dce
frame-relay route 105 interface Serial0/1/0 104
frame-relay route 106 interface Serial0/2/1 107
frame-relay route 115 interface Serial0/2/1 114
!
interface Serial0/2/1
description R7 pripojeno k R8
no ip address
encapsulation frame-relay
no ip route-cache
no fair-queue
frame-relay class signalizace
frame-relay traffic-shaping
frame-relay route 107 interface Serial0/2/0 106
frame-relay route 114 interface Serial0/2/0 115
!
ip classless
!
ip http server
no ip http secure-server
!
map-class frame-relay signalizace
frame-relay congestion threshold ecn 85
!
control-plane
!
banner motd ^C Neopravneny vstup zakazan!!! ^C
!
line con 0
password router7
logging synchronous
```

```
login
line aux 0
line vty 0 4
  password router7
  login
!
scheduler allocate 20000 1000
end
```

### FR přepínač R8:

```
R8#show running config
Building configuration...

Current configuration : 1886 bytes
!
version 12.3
service timestamps debug datetime msec
service timestamps log datetime msec
no service password-encryption
!
hostname R8
!
boot-start-marker
boot system flash:c2801-adventerprisek9-mz.123-14.YT1.bin
boot-end-marker
!
enable secret 5 $1$N8yW$ca4FrmVJ59JbuBNAct17b/
!
no aaa new-model
!
resource policy
!
mmi polling-interval 60
no mmi auto-configure
no mmi pvc
mmi snmp-timeout 180
ip subnet-zero
no ip routing
no ip cef
!
no ip dhcp use vrf connected
!
no ip domain lookup
no ip ips deny-action ips-interface
!
ipv6 unicast-routing
frame-relay switching
!
interface Serial0/1/0
  description R8 pripojeno k R5
  no ip address
  encapsulation frame-relay
  no ip route-cache
```

```
no fair-queue
clock rate 32000
frame-relay class signalizace
frame-relay traffic-shaping
frame-relay intf-type dce
frame-relay route 108 interface Serial0/1/1 107
frame-relay route 113 interface Serial0/1/1 114
!
interface Serial0/1/1
description R8 pripojeno k R7
no ip address
encapsulation frame-relay
no ip route-cache
no fair-queue
clock rate 32000
frame-relay class signalizace
frame-relay traffic-shaping
frame-relay intf-type dce
frame-relay route 107 interface Serial0/1/0 108
frame-relay route 114 interface Serial0/1/0 113
!
ip classless
!
ip http server
no ip http secure-server
!
map-class frame-relay signalizace
frame-relay congestion threshold ecn 85
!
control-plane
!
banner motd ^C Neopravneny vstup zakazan!!! ^C
!
line con 0
password router8
logging synchronous
login
line aux 0
line vty 0 4
password router8
login
!
scheduler allocate 20000 1000
end
```

Pro kontrolu přepínacích tabulek virtuálních okruhů na rozhraních FR přepínačů slouží příkaz **show frame-relay route**.

**FR přepínač R6:****R6#show frame-relay route**

Input Intf	Input Dlci	Output Intf	Output Dlci	Status
Serial0/1/0	101	Serial0/1/1	102	active
Serial0/1/0	118	Serial0/1/1	117	active
Serial0/1/1	102	Serial0/1/0	101	active
Serial0/1/1	117	Serial0/1/0	118	active

**FR přepínač R7:****R7#show frame-relay route**

Input Intf	Input Dlci	Output Intf	Output Dlci	Status
Serial0/1/0	103	Serial0/1/1	102	active
Serial0/1/0	104	Serial0/2/0	105	active
Serial0/1/0	116	Serial0/1/1	117	active
Serial0/1/1	102	Serial0/1/0	103	active
Serial0/1/1	117	Serial0/1/0	116	active
Serial0/2/0	105	Serial0/1/0	104	active
Serial0/2/0	106	Serial0/2/1	107	active
Serial0/2/0	115	Serial0/2/1	114	active
Serial0/2/1	107	Serial0/2/0	106	active
Serial0/2/1	114	Serial0/2/0	115	active

**FR přepínač R8:****R8#show frame-relay route**

Input Intf	Input Dlci	Output Intf	Output Dlci	Status
Serial0/1/0	108	Serial0/1/1	107	active
Serial0/1/0	113	Serial0/1/1	114	active
Serial0/1/1	107	Serial0/1/0	108	active
Serial0/1/1	114	Serial0/1/0	113	active

Příkazem **show frame-relay map** lze zkontrolovat dynamické mapování mezi DLCI a pod-rozhraním provedené pomocí IARP pro směrovače R2 až R4.

**Směrovač R2:**

```
R2#show frame-relay map
Serial0/1/0.103 (up): point-to-point dlci, dlci 103(0x67,0x1870),
broadcast, status defined, active
Serial0/1/0.116 (up): point-to-point dlci, dlci 116(0x74,0x1C40),
broadcast, status defined, active
Serial0/1/0.104 (up): point-to-point dlci, dlci 104(0x68,0x1880),
broadcast, status defined, active
```

**Směrovač R3:**

```
R3#show frame-relay map
Serial0/1/0.105 (up): point-to-point dlci, dlci 105(0x69,0x1890),
broadcast, status defined, active
Serial0/1/0.106 (up): point-to-point dlci, dlci 106(0x6A,0x18A0),
broadcast, status defined, active
Serial0/1/0.115 (up): point-to-point dlci, dlci 115(0x73,0x1C30),
broadcast, status defined, active
```

**Směrovač R4:**

```
R4#show frame-relay map
Serial0/1/0.109 (up): point-to-point dlci, dlci 109(0x6D,0x18D0),
broadcast, status defined, active
Serial0/1/0.119 (up): point-to-point dlci, dlci 119(0x77,0x1C70),
broadcast, status defined, active
Serial0/1/0.110 (up): point-to-point dlci, dlci 110(0x6E,0x18E0),
broadcast, status defined, active
```